



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

ULB

Untersuchung der Spannungsverteilung und der Größe der Spannung im laufenden Papierstrang in Rotationsmaschinen

Uhrig, H.
(1961)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00014161>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Report

Division: 16 Department of Mechanical Engineering
16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/14161>

UNTERSUCHUNG DER SPANNUNGSVERTEILUNG
UND DER GRÖSSE DER SPANNUNGEN IM LAUFENDEN PAPIERSTRANG
IN ROTATIONSMASCHINEN

Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren
der Technischen Hochschule Darmstadt

Februar 1961

Bearbeitet von Dipl.-Ing. R. Uhrig
Redigiert von Dipl.-Ing. E. Herrmann

I n h a l t

| | Seite |
|--|-------|
| I. Überblick | 1 |
| II. Kennzeichnung des Problems und seiner Bedeutung | 3 |
| III. Aufgabenstellung | 5 |
| IV. Meßgeräte und deren Meßverfahren | 6 |
| a) Meßprinzip | 6 |
| b) Das Springdale Tensiometer | 8 |
| c) Das General Electric Tensiometer | 8 |
| d) Das DMS Tensiometer mit Laufrolle | 9 |
| e) Das DMS Tensiometer ohne Laufrolle | 10 |
| V. a) Probelauf des General Electric Tensiometers und des DMS Tensiometers mit Laufrolle am Tiefdruckwerk des Institutes | 10 |
| b) Erprobung des DMS Tensiometers mit Laufrolle an einer Produktionsmaschine | 11 |
| VI. Verbesserung der Meßmethode | 12 |
| VII. Theoretische Überlegungen | 14 |
| a) Berechnung des Durchhanges | 14 |
| b) Meßbereich und Leitwalzenabstand | 17 |
| c) Dimensionierung der Feder | 19 |
| VIII. Versuchsdurchführung | 20 |
| IX. Qualitative Beurteilung der Meßergebnisse | 22 |
| a) Änderungen innerhalb kleiner Zeiträume | 22 |
| b) Änderungen über längere Zeiten | 23 |
| c) Verteilung der Zugkraft im Bahnquerschnitt | 23 |
| d) Spannungsänderungen beim Rollenwechsel | 25 |
| e) Auswirkungen von Rollenwechseln auf anderen Bahnen | 26 |
| f) Spannungsänderungen bei Drehzahländerungen | 26 |

| | |
|---|----|
| X. Die Eichung | 27 |
| XI. Quantitative Beurteilung der Diagramme | 29 |
| XII. Abhängigkeit der Registerhaltung von der Papierspannung | 30 |
| Ausblick | 31 |
| Bezeichnungen | 32 |
| Literatur | 33 |
| Abbildungsverzeichnis | 34 |
| Anhang: Bildteil | |

I. Überblick

In Folgendem soll über die Arbeit des Institutes für Druckmaschinen und Druckverfahren auf dem Gebiet der Erprobung und Entwicklung von Tensiometern für laufende Papierbahnen und über Meßergebnisse, die mit den Geräten gewonnen wurden, berichtet werden.

Wie sich im Laufe der Versuchszeit ergab, stehen die Ergebnisse im wesentlichen mit drei Veröffentlichungen (1, 2, 3) der amerikanischen Gravure Research Inc. in Einklang, soweit letztere entsprechende Punkte der vorliegenden Arbeit berühren. Ein kurzer Überblick über die Meßergebnisse sei vorangestellt.

Die Papierbahnspannung schwankt mit verschiedenen Frequenzen, die sich überlagern. Eine Frequenz, die der Drehfrequenz der Papierleitwalzen entspricht, tritt deutlich hervor. Die Amplituden ändern sich unterschiedlich und in unregelmäßigen Abständen. Bei den selten auftretenden Änderungen der mittleren Zugkraft über Zeiträume in der Größenordnung einiger Minuten konnte keine Regelmäßigkeit und keine Ursache mit Sicherheit festgestellt werden. Bei hohen, langsam steigenden Papierspannungen traten plötzliche Erniedrigungen um etwa 5 % des Durchschnittswertes auf. Diese Schwankungen können wahrscheinlich auf Schlupf zurückgeführt werden, evtl. auch auf andere Ursachen wie das Ansetzen von Farbe am Schleifgeber und plötzliches Abbröckeln. Die Papierbahnspannung am Rollenstuhl bleibt, vom Rollenwechsel abgesehen, konstant. Die Spannungen der Papierbahn in der Maschine sind stark vom Spannungszustand beim Anstellen der Presseure abhängig. Unterschiede um 50 %

wurden gemessen. Die Größenordnung der Spannung blieb dann bis zum nächsten Hochnehmen der Presseure abgesehen von kleinen Änderungen erhalten.

Beim Hochfahren der Maschine und während eines kurzen Zeitraumes nach Erreichen der vollen Geschwindigkeit steigt die Spannung leicht an.

Während des Abbremsens der Maschine steigt die Spannung zwischen letztem Druckwerk und Falzwerk kurz an, bevor sie mit den Spannungen in den anderen Bereichen abfällt.

Die Spannungsänderungen an den Rändern laufen im allgemeinen parallel zu denen der Bahnmitte.

Die größten Spannungsschwankungen treten beim Rollenwechsel auf. Je nach Bremseinstellung sank oder stieg die Zugkraft am Rollenstuhl beim Drehen des Rollensterns. Zwischen dem Abheben des Gurtes und dem Angreifen der Bremsen trat ein kurzer Spannungsabfall bis zu 25 % der normalen Spannung auf. Der Schnitt brachte eine positive Spannungsspitze von bis zu 200 % (0,1 bis 2 sec).

Ein Rollenwechsel auf einer anderen Bahn beeinflusst die Spannung in gewissem Maße.

Da der Produktionsablauf nicht gestört werden durfte, konnten die Eichungen für die Messungen an den Produktionsmaschinen nicht vollständig durchgeführt werden.

II. Kennzeichnung des Problems und seiner Bedeutung

Die vielfältigen Konstruktionen von Papierspannungsregelorganen an Rollenrotationsdruckmaschinen weisen darauf hin, welche wesentliche Bedeutung der Papierspannungsregelung für den einwandfreien Arbeitsablauf dieser Maschinen zukommt. Neben vielen anderen Faktoren wirkt sich die Spannung der Papierbahn maßgeblich auf die Registerhaltigkeit des Druckes und die durchschnittliche Leistung der Maschinen aus. Bei dem heutigen Streben nach immer höheren Laufgeschwindigkeiten gewinnt daher das Problem der Papierbahnspannungsregelung immer mehr an Bedeutung. Für die Weiterentwicklung und den Ausnutzungsgrad der Rotationsmaschinen ist die Beherrschung und zuverlässige Regelung der Zugkräfte in der Papierbahn von maßgebender Wichtigkeit. Neben dem direkten wirtschaftlichen Schaden durch Makulatur wächst der relative Einfluß der Maschinenstillstandszeiten auf Grund von Papierreißen bei gesteigerten Maschinengeschwindigkeiten immer mehr.

Durch entsprechende Maßnahmen konnte die Papierbahnspannungsregelung schon wesentlich verbessert werden. So fällt bei den heutigen Autopastern mit Regeleinrichtung die Zugkraft beim Rollenwechsel nicht auf Null herab, wie dies früher beim Ankleben der neuen Papierbahn von Hand zwangsläufig der Fall war.

Trotzdem treten vor dem ersten Druckwerk unter Umständen Spannungsschwankungen auf, die sich beim Mehrfarbendruck auch noch in den folgenden Druckwerken bemerkbar machen. Die in der Papierbahn wirksame Zugkraft, die von Druckwerk zu Druckwerk neu erzeugt werden muß, bewirkt auf Grund der Elastizität und Plastizität des Papiers eine Dehnung. Der Dehnungsbereich des Papierstranges zwischen

Abrollung und Falzwerk ist erheblich. Nimmt man beispielsweise für eine Mehrfarbenmaschine eine Stranglänge von ca. 30 m an, so ergibt sich für ein durchschnittliches Rotationspapier mit einem Elastizitätsbereich von ca. 0,6 % zwischen der Minimalspannung, bei der die Maschine noch ordnungsgemäß arbeiten kann und der Bruchspannung des Papiers, theoretisch eine Dehnungsstrecke von etwa 180 mm! Dabei ist vorausgesetzt, daß der relative Feuchtigkeitsgehalt konstant bleibt. Um das Register der letzten Farbe auf 0,25 mm genau halten zu können, müssten die Papierspannungsregler so empfindlich arbeiten, daß die Spannung auf 0,15 % eingehalten wird (nach Huck).

Um die Zugkraft Z möglichst auf ihrem Sollwert zu halten, mißt man sie beim Einlauf der Papierbahn in die Maschine mit einem Meßglied (z.B. Tänzer- oder Pendelwalze), das bei Abweichungen ein Signal an das Stellglied - in diesem Falle den Rollenantriebsmechanismus - gibt, damit der Sollwert wieder eingeregelt wird. Nach den durch die Papierqualität gegebenen Bedingungen kann dieser Sollwert von Hand eingestellt werden.

Trotzdem kommt es jedoch, wie auch bei unseren Messungen beobachtet werden konnte, unter besonderen Umständen zu untragbaren Zugkraftveränderungen und damit evtl. zu "Papierreißern". (Jeder Regelkreis kann bei ungünstiger Auslegung beispielsweise durch eine bestimmte Störgrößenfrequenz in Resonanz versetzt werden.)

Man könnte heute unter Berücksichtigung der gestiegenen Ansprüche einen rein elektrisch arbeitenden Papierbahnspannungsregler entwickeln, doch ist der dazu nötige meßtechnische und apparative Aufwand sehr groß. Auch die Ausregelung einer Störgröße auf elektrischem Wege erfolgt nicht trägheits- und zeitlos. Das Ausmaß

der Berechnungen für einen solchen Regler, der aus mehreren Regelkreisen bestehen würde, wäre wegen der gegenseitigen Beeinflussung der Regelkreise entsprechend groß.

Die Druckmaschinenindustrie hat bisher immer noch neue und verbesserte, mechanisch arbeitende Konstruktionen gefunden, so daß sich ein elektrisches System mit Brems-generator wegen der damit verbundenen Schwierigkeiten nicht durchsetzen konnte.

III. Aufgabenstellung

Bereits 1940 bestätigte G. Schneidereit durch in seiner Dissertation beschriebene Versuche die Vermutung, daß die Registerschwankungen direkt auf die Spannungsänderungen in der Papierbahn zurückzuführen sind.

Um die wirksamen Einflüsse zu erforschen, besteht also die Aufgabe, ein Meßglied zu schaffen, das alle Zugkraftänderungen erfaßt und zwar über einen großen Frequenzbereich, um sowohl sehr langsame, als auch schnelle Änderungen messen zu können. Da bekanntlich die Zugkraft innerhalb der Papierbahn über die Bahnbreite nicht konstant ist, ergibt sich die Notwendigkeit, ein Meßglied zu entwickeln, das nicht nur Mittelwerte der Spannungen erfaßt, sondern die effektiven Spannungen in Teilbereichen der Bahnbreite, partiell also, zu messen gestattet. Außerdem muß das Meßinstrument genau genug und mit gleichbleibender Empfindlichkeit arbeiten, um Schwankungen zu registrieren, die früher als unwesentlich betrachtet wurden, heute aber bei der Weiterentwicklung moderner Maschinen immer mehr Bedeutung gewinnen.

Weiterhin muß das Gerät überall einsetzbar sein, auch an relativ schwer zugänglichen Stellen der Papierführung in der Maschine, damit eine Kontrolle der Papierspannung zwischen den einzelnen Maschinenaggregaten möglich ist.

Bei den Untersuchungen im Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren wurden zuerst im Handel befindliche Geräte geprüft und beurteilt. Leider wurde der Beginn der Messungen durch beträchtliche Lieferzeiten verzögert. Vom Institut wurden zunächst je ein Partial-Tensiometer des Springdale Laboratory (USA) und der General Electric Co. (USA) eingesetzt.

IV. Meßgeräte und deren Meßverfahren

a) Meßprinzip

Den bekannten Meßverfahren liegt ein gemeinsames Meßprinzip zu Grunde: die Bestimmung der Änderung der Durchhangamplitude des Papierstranges zwischen zwei Leitwalzen bei Zugkraftänderungen. Zwischen zwei in gleicher Höhe angeordneten Leitwalzen hängt jede darübergeführte Papierbahn infolge ihres Eigengewichtes durch. Der Durchhang (senkrechter Abstand der Papierbahn von der Tangente an die Leitwalze) ist bei sonst gleichgehaltenen Bedingungen eine Funktion der in der Bahn wirksamen Zugkraft.

Bei der Anwendung dieses Meßprinzipes muß das elastoplastische Verhalten des Papiers bei Zugbeanspruchung und seine inhomogene Struktur berücksichtigt werden. Für die Eichung der Meßgeräte bedeuten diese Papiereigenschaften besondere Schwierigkeiten.

Genauere Ausführungen und ausführliche Literaturangaben über Messungen von Zugkräften in Papiermaschinen, insbesondere über Untersuchungen über die Abhängigkeit der Papiereigenschaften von den Zugkräften befinden sich in der Dissertation von Führlbeck (4).

Es wurde ferner eine Methode bekannt, kraftlos mit Hilfe der Lichtreflexion an der Papierbahn den Weg zu messen (5).

Bei den üblichen Meßverfahren wird der Meßwert durch den Kraftschluß zwischen Papierbahn und der Rolle, Walze oder einem schleifenden Aufnehmer des Meßgerätes erzielt. Die Papierbahn wird durch das darauf laufende oder gleitende Teil ausgelenkt und die durch die Zugkräfte P an dem zylindrischen Körper wirkende Resultierende R gemessen (Bild 1). Das Eigengewicht evtl. mit zusätzlicher Feder (Tänzer-, Pendelwalze), eine Blattfeder (General Electric, Springdale) oder eine Spiralfeder (Frank, Stein, Siemens) hält der Kraft R das Gleichgewicht. Eine Änderung der Kraftverhältnisse in der Papierbahn bewirkt eine Verschiebung des Kraftangriffspunktes. Diese Ortsveränderung kann mechanisch (Frank), elektromagnetisch (Stein, General Electric, Siemens, Springdale) oder elektrisch auf ein Anzeigeinstrument übertragen werden.

Erfasst die Meßwalze die gesamte Bahnbreite, so wird nur ein Mittelwert für die Bahn angezeigt (Tänzerwalze, Pendelwalze, Frank, Stein).

Geräte, deren Meßwalze nur einen schmalen Bereich der Bahnbreite erfäßt (Partialtensiometer), geben annähernd Auskunft über die Kraftverhältnisse in diesem Teilbereich. Dabei werden jedoch die angrenzenden Teilbereiche durch die

Verformung auf Grund der Kraftwirkung der Meßrolle auf die Papierbahn mit beeinflusst. Dabei ist darauf zu achten, daß nicht durch ungünstige Spannungskonzentration an den Rollenden die Papierbahn beschädigt und evtl. zerstört wird.

b) Das Springdale Tensiometer (Bild 2; 2a)

Das Springdale Tensiometer nimmt die wirksame Resultierende der Zugkräfte in der Papierbahn mit einer Blattfeder auf. Die Kraftübertragung von der Papierbahn auf die Blattfeder geschieht mit Hilfe einer 25 mm breiten kugelgelagerten Meßrolle (Durchmesser 25,4 mm, Hartgummi-auflage). Die Auslenkung der Blattfeder wird über zwei Hebel auf einen Drehtransformator (Speisespannung 6,3 V) übertragen. Die induzierte Wechselspannung gilt als Maß für die in der Bahn herrschende Zugspannung. Die Sekundärspannung wird von einem Galvanometer angezeigt.

Vorteil: Leichter, handlicher Meßkopf. Durch Verschieben des Gerätes in der Halterung kann die Zustellung, d.h. der Abstand des Meßpunktes von der Tangente an die Leitwalzen geändert werden.

Nachteil: Die Sekundärspannung wächst nicht linear mit dem Federausschlag, sondern sinusförmig. Die Empfindlichkeit des Gerätes ist für Forschungszwecke nicht immer ausreichend. Das Gerät läßt sich schwer auf den exakten elektrischen Nullpunkt einstellen.

c) Das General Electric Tensiometer (Bild 3; 3b)

Das General Electric Tensiometer arbeitet ebenfalls mit Blattfeder und Rolle (100 mm lang, 35 mm \varnothing). Die

Auslenkung der Blattfeder wird in diesem Falle auf einen Wipphebel übertragen. Durch diesen Hebel geht der magnetische Fluß eines darüber angeordneten Transformators. Die Größe des Luftspaltes wird durch die Wippbewegung des Hebels verändert. Damit wird die magnetische Kopplung zwischen Primär- und Sekundärwicklung geändert. Die Sekundärspannung wird auf ein Galvanometer gegeben, dessen Skala für die direkte Ablesung der in der Papierbahn herrschenden spezifischen Zugkraft S (kg/cm) geeicht werden kann.

Vorteil: Robustes Meßgerät, hinreichend genau für den Betrieb. Die Blattfederlänge ist verstellbar, damit kann das Gerät den jeweils gegebenen Bedingungen (Papierqualität, Leitwalzenabstand) angepasst werden.

Nachteil: Das Gerät ist zu schwer und unhandlich. Eine Verstellmöglichkeit senkrecht zur Bahn ist nicht vorhanden. Die Empfindlichkeit ist für Forschungszwecke nicht ausreichend. Für die Erfassung höherer Frequenzen ist das Gerät zu träge.

Das Gerät der Firma Siemens (Bild 3b) arbeitet nach dem gleichen Prinzip, verwendet jedoch an Stelle der Blattfeder eine Spiralfeder. Die Rolle ist direkt an dem starren Wipphebel befestigt.

d) Das DMS Tensiometer mit Laufrolle (Bild 4; 4a)

Die Nachteile des Springdale Tensiometers bei der Übertragung des Meßwertes von der Blattfeder bis zum Anzeigegerät sollten vermieden und die Empfindlichkeit erhöht werden. An einer stärkeren Blattfeder, die für die Versuchsverhältnisse im Institut nötig war, wurde die

Laufrolle des Springdale Tensiometers befestigt. Die Meßwerte lieferten zwei empfindliche Dehnungsmeßstreifen auf Unter- und Oberseite der Feder mit Hilfe eines elektronischen Verstärkers (Hottinger Trägerfrequenzmeßverstärker KWS II).

Vorteil: Zuverlässigkeit und grössere Genauigkeit.
Gleichspannungsausgang für ein Registriergerät.
Die Zustellung zur Papierbahn kann geändert werden.

Nachteil: Bei der notwendigen Empfindlichkeit ließ sich die Nullpunktkonstanz nur auf einen Skalenteil des Anzeigeteils erhalten und machte oft eine Nachstellung nötig. Der elektronische Aufwand ist verhältnismäßig groß.

e) Das DMS Tensiometer ohne Laufrolle (Schleifgeber) (Bild 5)

Um höhere Frequenzen ohne Verfälschung erfassen zu können, wurde ein Tensiometer konstruiert, das keine Laufrolle besitzt. Der vordere gebogene Teil der Blattfeder schleift auf dem Papier. Die Meßwerte werden über Dehnungsmeßstreifen erhalten.

V. a) Probelauf des General-Electric- und des DMS Tensiometers am Tiefdruckwerk des Institutes

Die beiden Tensiometer wurden am Tiefdruckwerk des Institutes angebracht (eine Skizze der Eichanordnung zeigt Bild 6). Die Meßwerte wurden mit einem Philips Oszilloscript System Schwarzer registriert. Je ein Beispiel zeigen die Bilder 7 und 8. Zu dem auf Bild 7 gezeigten Schrieb sei folgende Erläuterung gegeben:

Es wurde bei Beginn die Papierbahn nur von der

Wickelrolle, d.h. ohne Zugwalzen bei angehobenem Presseur durch die Maschine gezogen. Bei einer Steigerung der Laufgeschwindigkeit von 0,1 auf 2 m/s traten, bedingt durch Änderungen der spezifischen Zugkraft, vor allem durch die Pendelwalze, das Flattern der Bahn und die Schwingungsempfindlichkeit des Gebers Schwingungen auf. Die Schwingungen fallen weg, wenn man die Geschwindigkeit auf Einzuggeschwindigkeit reduziert. Die spezifische Zugkraft beträgt dabei ca. 100 g/cm. Wird der Presseur angestellt, so steigt die spezifische Zugkraft an der Meßstelle auf etwa 240 g/cm an. Steigert man nun die Geschwindigkeit wiederum auf 2 m/s, so treten erneut Schwingungen auf. Werden nach einer Verringerung der Geschwindigkeit die Zugwalzen angestellt, so verschwinden die Schwingungen wieder und die Zugkraft steigt unwesentlich an. Wird über das PIV Getriebe die Wickelrollendrehzahl vergrößert, so steigt, wie zu erwarten ist, die Zugkraft stark an.

b) Erprobung des DMS Tensiometers mit Laufrolle an einer Produktionsmaschine

Das Tensiometer wurde zwischen Rollenstuhl und erstem Druckwerk eingebaut. Die Messungen sollten gleichzeitig eine Aussage über die Zugkraftveränderungen hinter dem neu konstruierten Autopaster liefern.

Zunächst traten erhebliche Schwierigkeiten auf. Die Halterung des Tensiometers mußte geändert werden, da sie sich wegen der starken Schwingungen der Maschine als unzureichend erwies und es mußte dafür gesorgt werden, daß Einflüsse durch die elektrischen Einrichtungen im Druckmaschinenraum sich nicht mehr störend bemerkbar machen konnten.

Die mit Hilfe der Dehnungsmeßstreifen im Zusammenwirken mit der Meßbrücke erhaltenen Meßwerte für die

Biegung der Blattfeder wurde auf einen Gleichspannungsoszillographen gegeben und mit einer Registrierkamera aufgenommen. Eine derartige Registrierung der Spannungsänderungen während des Anklebevorganges eines Autopasters zeigt Bild 9. Bei dieser Art der Registrierung steht allerdings nur eine Schriebweite von 20 mm zur Verfügung. (Den Meßplatz zeigt Bild 10).

Es wurden während des normalen Maschinenlaufes erhebliche Schwankungen der Papierbahnspannung beobachtet, die sich entgegen den anfänglichen Vermutungen - wie sich im Laufe der Untersuchungen zeigte - nicht auf Maschinenschwingungen zurückführen ließen.

Die spezifische Spannung schwankte meist zwischen 150 g/cm und 350 g/cm mit einem Mittelwert bei ca. 250 g/cm, der etwa 13 % der Bruchspannung entspricht. Beim Rollenwechsel traten jedoch Spannungsspitzen von 600 g/cm und bis zu 1200 g/cm auf.

An Probestreifen der Größe 50 x 200 mm wurde eine durchschnittliche Bruchspannung von 1890 g/cm ermittelt.

VI. Verbesserung der Meßmethode

Bei diesem Tensiometer mit der relativ niedrigen Eigenfrequenz von 25 Hz war zu befürchten, daß trotz guter Dämpfung des Aufnehmers zu große Verfälschungen der Meßwerte bei den höchsten Flatterfrequenzen von 10 bis 20 Hz auftraten.

Die kleine, scharfkantige Laufrolle verursachte zu große plastische Verformungen des Papiers bei hohen Bahnspannungen. Diese Nachteile wurden durch die Anwendung eines rollenlosen Schleifgebers vermieden. Ein an einer Blattfeder befestigtes Teflonsegment schleift auf der Bahn. Die Eigenfrequenz von ca. 60 Hz lag wesentlich höher als die des Gerätes mit Rolle.

Versuchsweise wurde auch ein Geber mit einer Rolle aus Leichtmetall mit stark abgerundeten Seitenkanten eingesetzt, um die gleitende Reibung zu vermeiden.

Die Versuche an dem Druckwerk des Institutes mußten jeweils auf kurze Läufe beschränkt bleiben.

Der Versuch, die Einflüsse der Maschine auf die Papierbahnspannung mit Hilfe einer zusammengeklebten endlosen Papierbahn, die bei sauberem Lauf unkontrollierbare Einflüsse von Seiten des Papiers weitgehend ausgeschaltet hätte, brachten wegen des seitlichen Verlaufs und Faltenbildung nicht den erwünschten Erfolg.

Um über den Spannungszustand der gesamten Papierbahn in der Maschine Aussagen machen zu können, sind Beobachtungen mehrerer Meßstellen gleichzeitig oder in kurzen Zeitabständen hintereinander nötig. Mit einer elektrischen Umschalteinheit, die es gestattet, mehrere Meßstellen in kurzer Folge nacheinander abzurufen, brachte ein Langzeitversuch mit drei verschiedenen Gebern an einer Rotationsmaschine folgende Ergebnisse:

Am Schleifgeber waren zuerst befürchtete Störungen durch elektrische Aufladungen nicht zu beobachten. Trotz schwingungsdämpfender Halterung der Geber an der Maschine konnten Störungen, die durch Erschütterungen auf Grund des Duktorschlages auftraten nicht völlig von den Gebern ferngehalten werden.

Die Annahme, die mangelhafte Nullkonstanz der Meßanlage sei eine Folge der unterschiedlichen Speisespannungen von Umschalteinheit und Meßbrücke, hat sich später als unzureichend erwiesen.

Bessere Ergebnisse konnten bei den Messungen an

einer Rotationstiefdruckmaschine erzielt werden. Der Leitwalzenabstand der Meßstrecke war bei dieser Produktionsmaschine etwa doppelt so groß wie bei der Maschine des Institutes. Diagramme eines Rollenwechsels, beim Rollenstuhl aufgenommen, zeigt Bild 11.

Die Flatterfrequenz der Papierbahn entsprach etwa der Drehfrequenz der Papierleitwalzen. Dieses Ergebnis war zu erwarten, da die Leitwalzen nicht ausgewuchtet waren. Die Vermutung, daß die Amplituden der Flatterschwankungen der Zugkraft mit wachsendem Abstand von der Leitwalze kleiner würden, konnte an Hand der gewonnenen Meßwerte nicht eindeutig bestätigt werden.

Die Vorversuche haben gezeigt, daß das Meßergebnis sehr stark von den verschiedensten Umständen beeinflusst wird. An der Institutsmaschine konnten die optimalen Bedingungen angenähert durch Versuche ermittelt werden. Bei anderen Maschinen sind die Versuchsbedingungen ebenfalls andere, z.B. Leitwalzenabstand, Bahnbreite, Druckgeschwindigkeit, Maschinenschwingungen etc.

Andererseitsbeeinflusst der Geber durch die Kraftwirkung auf die Papierbahn auch die Maschinenbedingungen. Jedes Messen bedeutet Eingreifen, also Stören. Um eine möglichst geringe Rückwirkung von dem Geber auf die Papierbahn zu erhalten, müßte er mit möglichst geringer, konstanter Meßkraft der Durchgangsänderung der Papierbahn folgen.

VII. Theoretische Überlegungen

a) Berechnung des Durchhangs

Wie bereits oben erwähnt, ist der Durchhang der Papierbahn zwischen zwei Leitwalzen für ein bestimmtes

Papier eine Funktion der Papierspannung, Da die Papierbahn zwischen zwei Leitwalzen im üblichen Spannungsbereich nicht tief durchhängt, sondern ziemlich waagrecht verläuft, kann das Eigengewicht des Papiers (Streckenlast q) als gleichmäßig über die Horizontalprojektion verteilt angenommen werden. Bei den geringen in Frage kommenden Durchbiegungen ist der Einfluß der Biegesteifigkeit des Papiers für die folgenden Betrachtungen vernachlässigbar klein.

Bild 14 zeigt die Verhältnisse bei übertrieben dargestelltem Durchhang.

$$\begin{aligned}\text{Es gilt:} \quad V &= \int q \, dx = qx \\ y' &= \frac{V_g}{H_g} = \frac{qx}{H_g} \\ y &= \int \frac{qx}{H_g} \, dx = \frac{qx^2}{2 H_g}\end{aligned}$$

$$\text{für } x = \frac{l}{2} \text{ folgt } y = d = \frac{ql^2}{8 H_g}$$

Für ein 80 g-Papier bei 1 m breiter Bahn und 1 m Leitwalzenabstand folgt:

$$q = 0,08 \text{ g/mm}, \quad l = 1 \, 000 \text{ mm}$$

$$d = \frac{ql^2}{8 H_g} = \frac{0,08 \cdot (10^3)^2}{8 H_g} = \frac{10^4}{10^3} H$$

$$d = \frac{10 \text{ mm}}{H}$$

Bei dem in Frage kommenden geringen Durchhang kann gesetzt werden $H = S$

$$\text{also } d = \frac{10 \text{ mm}}{S} \quad \text{für } l = 1 \text{ m}$$

Die Diagramme in Bild 12 und 13 zeigen den Durchhang für ein 80 g-Papier über der Zugkraft bzw. dem Leitwalzenabstand.

Der Durchhang eines 110 g-Papieres bei einem Leitwalzenabstand von 570 mm wurde gemessen. Die gemessenen Werte stimmten ziemlich genau mit den dafür berechneten Werten überein.

Die Diagramme zeigen folgendes anschaulich:

Je größer der Leitwalzenabstand, umso größer der absolute Durchhang, d.h. umso genauer kann gemessen werden.

Die Durchhangänderung auf Grund einer Zugkraftänderung ist in der Mitte zwischen den Leitwalzen am größten. Von der Mitte zu den Leitwalzen hin werden die Änderungen kleiner.

Theoretisch genügen wenige μ m Wegänderung, da die Meßwerte elektronisch soweit verstärkt werden, daß eine einwandfreie Auswertung möglich ist. Je nach Anordnung des Meßgerätes zwischen zwei Leitwalzen wird im Bereich zwischen maximalem Durchhang und sehr geringem Durchhang und sehr geringem Durchhang in der Nähe einer Leitwalze gemessen. Dementsprechend verhalten sich die Meßwerte für die Durchhangänderung bei Zugkraftänderungen. Bei Messungen an Produktionsmaschinen beschränken häufig die Platzverhältnisse die Auswahlmöglichkeiten für den Meßort. Man wird möglichst im Bereich größeren Durchhangs messen, da dort Fehlereinflüsse durch Unregelmäßigkeiten des Papiers verhältnismäßig wenig ins Gewicht fallen.

Der Durchhang ändert sich hyperbolisch, die Federdurchbiegung jedoch linear. Man kann die Meßfeder nur einem bestimmten Zugkraftbereich anpassen, um die Bahn nicht plastisch zu verformen und das Meßergebnis nicht durch zu große Nebeneinwirkungen zu verfälschen. Der normale Zug-

kraftbereich einer Maschine ist gewöhnlich nicht von vornherein bekannt und muß an Hand von Probemessungen abgeschätzt werden, denn die Verhältnisse innerhalb dieses Bereiches sollen durch die Messungen bestimmt werden. Die Durchhangänderungen bei entsprechend großem Leitwalzenabstand würden auch andere Wegmeßmethoden zulassen, das Flattern der Bahn und die Inhomogenität des Papierses beschränken jedoch die Auswahl.

b) Meßbereich und Leitwalzenabstand

Bei einer schmalen Meßrolle geht in die Messung noch ein unbestimmter Seiteneinfluß auf Grund der elastoplastischen Eigenschaften des Papierses mit ein. Die relative Größe dieses Einflusses nimmt mit wachsender Meßrollenbreite ab. Bei Meßrollen, die die gesamte Bahnbreite erfassen, fällt er gänzlich fort. Dafür wird aber der Nachteil in Kauf genommen, dass man nur einen Mittelwert der Papierspannung für die gesamte Bahnbreite mißt. Bei den folgenden prinzipiellen Überlegungen wird der Seiteneinfluß nicht berücksichtigt.

Die Resultierende R der Papierzugkräfte wirkt auf die Feder und biegt diese so weit auf, bis sie durch die damit wachsende Federkraft kompensiert wird. Die Federdurchbiegung (bzw. -kraft) ist ein Maß für die Größe der Zugkraft nach entsprechender Eichung. Die größte Empfindlichkeit erreicht man bei annähernd waagerechter Bahn und Anordnung des Meßortes in der Mitte zwischen den beiden Leitwalzen. Die Blattfeder muß dabei möglichst parallel zur Papierbahn angeordnet sein, um Kraftkomponenten in Federrichtung zu vermeiden.

Ein beliebiger Meßzustand unter diesen Bedingungen wird in Bild 15 anschaulich gemacht.

Es gilt:

$$e = g - f \qquad f = \frac{R}{c}$$

$$R = 2P \sin \alpha \qquad \sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{2e}{l}$$

(Bei $\alpha < 1^\circ$ kann $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$ gesetzt werden).

$$e = g - \frac{2P}{c} \cdot \frac{2e}{l}$$

$$g = e \left(1 + \frac{4P}{c \cdot l} \right)$$

$$e = \frac{g}{1 + \frac{4P}{c \cdot l}} \qquad a = c \cdot l$$

$$e = \frac{g}{1 + \frac{4P}{0,25 \cdot a}}$$

Die Meßrollenbreite geht indirekt über die Größe P in die Formel für die Ortsverlagerung e des Meßpunktes ein.

Bild 16 zeigt die Punkte, für die die Gleichung erfüllt wird bei einer Zustellung g von 1,4 mm und einem a-Wert von 10^6 . In das gleiche Diagramm sind für zwei verschiedene Leitwalzenabstände und Bahnbreiten die Durchhangkurven eingezeichnet. Keine dieser Kurven deckt sich streckenweise mit der e-Kurve. Für andere Werte von $a = cl$ liegen die e-Kurven anders. Durch geeignete Auswahl von c bei gegebenem l kann beispielsweise eine streckenweise Angleichung der Durchhangkurve an die e-Kurve erreicht werden, um günstige Meßbedingungen zu erhalten.

Vorausgesetzt, daß die Blattfeder parallel zur Bahn angebracht ist, damit R senkrecht auf die Feder wirkt, gilt die Abgleitung näherungsweise auch für einen Meßort der nicht genau in der Mitte zwischen den Leitwalzen liegt.

Bei Zugkraftherhöhung bleibt die Vertikalkomponente $V = ql$ konstant, da der Gewichtsverlust des Papierees durch Abwandern über die Leitwalzen auf Grund der Papierdehnung und Verminderung des Durchhanges vernachlässigbar klein ist. Jedoch vergrößert die durch die Blattfeder bei Ortsverlagerung des Meßpunktes durch eine Zugkraftherhöhung aufgebrauchte Kraft die Vertikalkraft. Um diesen Einfluß relativ gering zu halten, müßte der Meßweg möglichst klein sein. Das würde aber den Forderungen für möglichst empfindliche Messung zuwiderlaufen.

c) Dimensionierung der Feder

Bei den Vorversuchen traten Höchsthäufigkeiten von ca. 20 Hz auf. Um bei diesen Häufigkeiten keine Verfälschung der Meßwerte zu erhalten, muß die Eigenhäufigkeit des Meßgerätes wesentlich höher liegen. Sie ist von der Masse und der Federkonstante wie folgt abhängig:

$$\nu_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}$$

Es gilt:

$$c = \frac{B}{4} \frac{H^3}{L^3} E$$

Bei gleicher Breite und gleicher Federkonstante hat also eine kurze, dünne Feder eine höhere Eigenhäufigkeit als eine dicke, lange.

Eine Federkonstante von $c = 800 \text{ g/mm}$ bei einem Schleifgeber ergab eine Eigenhäufigkeit von $\nu_e = 60 \text{ Hz}$. Die Eigenhäufigkeiten des Springdale Tensiometers und des DMS Tensiometers mit Laufrolle lagen bei 20 bzw. 30 Hz.

Für Federstahl $2 \times 30 \text{ mm}$ und $c = 1000 \text{ g/mm}$ wird $L = 108 \text{ mm}$ und damit ist für $l = 500 \text{ mm}$ $a = 5 \cdot 10^5 \text{ g}$ ($\nu_e = 68,5$).

Es sei beispielsweise ein maximaler Zug von $S_{\max} = 2 \text{ kg/cm}$ und ein minimaler Zug von $S_{\min} = 0,1 \text{ kg/cm}$ zu erwarten. Soll bei einem 80 g-Papier ein Bereich von 0,25 mm durchfahren werden - bei einem 3 cm breiten Aufnehmer schwankt dann die Zugkraft in dem erfaßten Bereich zwischen $P_{\max} = 6 \text{ kg}$ und $P_{\min} = 0,6 \text{ kg}$ - so liegt der Meßbereich fest. Bei $g = 0,25 \text{ mm}$ läßt sich die Durchhangkurve mit entsprechendem Maßstab zeichnen, ebenso die a-Kurve an Hand der obigen Angaben. Man kennt also den Abstandsunterschied zwischen Kraftangriffspunkt und einem entsprechenden Punkt der von der Meßkraft unbeeinflusst gedachten Bahn für jede Zugkraft und kann in etwa den Seiteneinfluß abschätzen.

Durch eine Variation von g kann versucht werden, die Durchhangkurve im Hauptbereich der zu erwartenden Zugkräfte an die a-Kurve anzugleichen und so die untere Meßbereichsgrenze zu finden. Auf diese Art lassen sich bei der Messung zu berücksichtigende Größen bestimmen.

VIII. Versuchsdurchführung

Zunächst wurden Messungen an einer Produktions-Tiefdruckkrotationsmaschine ohne automatische Spannungskonstanthaltung durchgeführt. Dabei wurde zur Registrierung ein Lichtstrahl-Oszillograph (Honeywell Visicorder) mit 5 Kanälen erprobt (vorgesehen 12 Kanäle). An folgenden Stellen wurde gemessen:

Zwischen Rollenstuhl und erstem Druckwerk,
zwischen erstem und zweitem Druckwerk,
zeitweise zwischen zweitem und drittem Druckwerk,
zwischen Schön- und Widerdruckwerk,
beim Einlauf in das Falzwerk.

Die Papierleitwalzen der Produktionsmaschine waren nicht ausgewuchtet.

Es wurden Rundlauffehler bis zu 0,1 mm gemessen. Das verarbeitete Papier war in schlechtem Zustand (z.B. Risse in der angelieferten Rolle), was zu häufigen Papierreißen führte. Außerdem wurden verschiedene Papiersorten verdruckt, so daß auch von dieser Seite keine einheitlichen Versuchsbedingungen vorlagen. Bedingt durch das vorliegende Einzieh-Verfahren wurden hin und wieder vom Bedienungspersonal der Maschine Geber beschädigt. Zeitweise neigte das Papier stark zu elektrostatischer Aufladung.

(Beispiele für Meßstellen in den Maschinen zeigt Bild 18).

Bei Messungen an einer anderen Produktionsmaschine, einer Vierfarben-Tiefdruckrotation, waren die Bedingungen günstiger. Bei diesen Messungen waren 10 Schleifgeber eingesetzt. Es wurde an einem von drei Papiersträngen an folgenden Stellen gemessen:

Zwischen Rollenstuhl und Schöndruckwerk, an beiden Rändern und in der Mitte,
zwischen Schön- und Widerdruckwerk, an um 60° geneigter Bahn,
zwischen erstem und zweitem Widerdruckwerk in Bahnmitte,
zwischen zweitem und drittem Widerdruckwerk in Bahnmitte,
zwischen drittem und viertem Widerdruckwerk in Bahnmitte,
vor dem Zugwalzenpaar am Falzwerk,

Die Zylinderdurchmesser waren wie folgt abgestuft:

| | | |
|------------|---------|-----------|
| Schöndruck | schwarz | 337,27 mm |
| Widerdruck | gelb | 337,45 mm |
| Widerdruck | rot | 337,46 mm |
| Widerdruck | blau | 337,47 mm |
| Widerdruck | schwarz | 337,50 mm |

Diese Maße schwankten etwas über die Zylinderbreite.

Es wurde ein Papier 65 g/m^2 für Rotationstiefdruck mit fast konstantem Trockengehalt von 92,8 % atro verdruckt.

Für die Festlegung der Drehzahl auf den Schrieben wurde über einen Mikroschalter ein Impuls pro Formzylinderumdrehung abgenommen und auf den Schrieb gegeben. Die Spannung am Rollstuhl wurde automatisch durch Pendelwalze und PIV Getriebe über einen Gurtantrieb geregelt. Die Geber konnten nur so weit angestellt werden, wie es der Trocknungszustand der Farbe zuließ, da die Gefahr des Schmierens an den Schleifgebern bestand. Bei den Schwarzfarben war diese Gefahr am größten.

IX. Qualitative Beurteilung der Meßergebnisse

Aus den Messungen an der ersten Tiefdruckrotation lassen sich wegen der ungünstigen Versuchsbedingungen nicht viele Rückschlüsse allgemeiner Bedeutung ziehen, dagegen können aus der zweiten Versuchsserie wichtige Folgerungen mit genügender Sicherheit gezogen werden.

a) Kurzzeitige Änderungen (Flattern der Papierbahn)

Während des Maschinenlaufs schwankt die Zugkraft mehr oder weniger gleichmäßig mit verschiedenen Frequenzen und Amplituden. Die erhaltenen Aufzeichnungen stellen ein Schwingungsgemisch dar. Dennoch treten bestimmte Frequenzen auffallend hervor. Sie liegen jeweils in der Nähe der Drehfrequenz der Leitwalzen von ca. 15 Hz oder der Drehfrequenz der Formzylinder von ca. 5,5 Hz bei normaler Laufgeschwindigkeit der Maschine. Das Verhältnis der Flatterfrequenz zur Drehzahl blieb bei allen Drehzahlen in etwa konstant. Verschiebungen wurden wohl dadurch verursacht, dass die Meßstelle von mindestens zwei Walzen beeinflusst wurde. Die Leitwalzen dieser Maschine waren lediglich statisch ausgewuchtet.

b) Änderungen über längere Zeiten

In einigen Fällen, u.a. auch vor dem Einlauf in das Falzwerk, konnte beobachtet werden, dass die Zugkraft innerhalb von zwei bis drei Minuten leicht anstieg und dann sehr plötzlich wieder auf das Ausgangsniveau abfiel. Diese Erscheinung ließe sich mit auftretendem Schlupf in den Zylindersystemen erklären. Aus den Aufzeichnungen darf man schließen, dass das Anfahren und das Anstellen der Presseure eine erhebliche Bedeutung für die sich dann im Lauf einstellende Bahnspannung hat. Mit dem Anstellen der Presseure steigt die Zugkraft in der Bahn im allgemeinen an und bleibt nach einer gewissen Zeit innerhalb bestimmter enger Grenzen konstant.

c) Verteilung der Zugkraft im Bahnquerschnitt

Die Teilspannungen an den Bahnrändern und in der Bahn können sich auf Grund der physikalischen Beschaffenheit des Papierees unabhängig voneinander ändern. Einmal wegen der Inhomogenität des Papierees von der Fertigung her und zum zweiten, wesentlich mehr ins Gewicht fallend, wegen der unterschiedlichen Feuchtigkeitsverteilung und damit ungleichmäßigen Dehnung des Papierees durch ungenügende Klimatisierung vor der Verarbeitung. Bei dem enormen Papierverbrauch moderner Rotationsmaschinen steht den Druckereien häufig nicht genügend Raum und Kapital zur Verfügung, um die Papierrollen eine genügend lange Zeit zu klimatisieren, damit die Feuchtigkeitsunterschiede ausgeglichen werden.

Bild 18 zeigt die ideale Spannungsverteilung in einer Papierbahn und ein Beispiel für ungleichmäßige Spannungsverteilung infolge unterschiedlicher Feuchtigkeitsgehalte und unterschiedlichen Dehnvermögens in den Teilbereichen der Papierbahn.

Auch beim Rollenwechsel zeigten die Aufzeichnungen ungleichmäßige Spannungsänderungen über die Bahnbreite, z.B. fiel die Spannung an einem Bahnrand, während sie am anderen stieg. Dies glich sich jedoch in diesem Fall nach einigen Minuten wieder aus.

Während des Laufs verliefen größere Spannungsänderungen der Ränder allgemein parallel zu denjenigen der Bahnmitte. Ein gegenläufiges Verhalten, ähnlich der eben erwähnten Erscheinung nach dem Rollenwechsel, wurde in zwei Fällen beobachtet. Es ist anzunehmen, dass die Bahn seitlich weglief. Es ist möglich, dass ein Seitenregister verstellt wurde, eine Nachprüfung dieser Vermutung war jedoch bei der Auswertung der Schriebe nicht mehr möglich. Bei einem Riß während des Rollenwechsels (Bild 19a) wurde ein die Spannung erniedrigender Stoß auf einer Seite der Papierbahn registriert; danach trat ein kurzer Spannungsanstieg an dieser Meßstelle auf und anschließend fielen alle Spannungen gleichartig ab.

Bei allen plötzlichen Änderungen in der Größenordnung von 0,1 sec muß beachtet werden, dass sowohl die Tänzerwalze, als auch die Pendelwalze wegen ihrer großen Massenträgheit nicht in so kurzen Zeiträumen ausgleichen können.

Bild 19b zeigt das charakteristische Spannungsverhalten bei seitlichem Verlaufen der Bahn während des Anfahrens. Abwechselnd bekommen die Bahnränder mehr und weniger Spannung, während die Spannungsschwankungen in der Mitte relativ klein sind. Anschließend wurden zu einem ungünstigen Zeitpunkt die Presseure angestellt und damit die Spannungszustände fixiert. Beim Steigern der Maschinengeschwindigkeit riß das Papier.

Bei einem weiteren Anfahrvorgang hielt die Papierbahn solange stand, wie der bremsende Gurt auf der

Papierrolle wirkte. Sobald seine Bremswirkung beim Drehen des Rollensternes und Abheben des Gurtes aufhörte, fiel die Spannung in Bahnmitte plötzlich ab und die Zugkräfte an den Rändern steigerten sich so, daß die Bahn riß.

d) Spannungsänderungen beim Rollenwechsel

Beim Rollenwechsel waren in Übereinstimmung mit George und Kimball die größten Spannungsänderungen zu beobachten. Sie pflanzten sich in abgeschwächter Form etwa mit Bahngeschwindigkeit durch alle Druckwerke fort. Beim Rollenwechsel konnten beim Abheben des Gurtes von der Rolle und insbesondere beim Schnitt (Bild 19c) Spannungsspitzen zwischen 25 % und 200 % der normalen Spannung mit einer kürzesten Dauer von 0,1 sec gemessen werden. Je nach Bremseinstellung der Rollensternpinolen sank die Zugkraft mehr oder weniger beim Abheben des Gurtes von der Papierrolle und stieg oder fiel verschieden stark nach dem Schnitt. Ein- und dasselbe Rollensternarmpaar zeigte bei wiederholten Messungen im allgemeinen das gleiche Verhalten beim Rollenwechsel.

Eine Zusammenstellung über die Feststellungen beim Messen gibt Bild 20.

Während beim Abheben ein negativer (also erniedrigender) Spannungsstoß durch die Maschine ging, ohne seine Richtung umzukehren, konnte an manchen Stellen beim Schnitt das Gegenteil beobachtet werden. Der positive Schnittstoß am Rollenstuhl wurde zwischen zwei Druckwerken als kurzer Spannungsabfall registriert. Manches Mal trat auch eine volle Schwingung, also ein negativer und ein positiver Ausschlag auf. Die Ursache dieser Erscheinung dürfte wohl im elasto-plastischen Verhalten des Papieres und in der Überlagerung von Schwingungen zu suchen sein.

Die Spannung hinter dem Rollenstuhl blieb, vom Rollenwechsel abgesehen, im Vergleich zu anderen Meßstellen ziemlich konstant. Geriet die Bahn jedoch vor dem Rollenwechsel ins Flattern, schaukelten sich die Schwingungen erheblich auf, was dann zum Riß führen konnte.

e) Auswirkungen von Rollenwechseln bei anderen Bahnen

Ein Rollenwechsel bei einer anderen Bahn der Maschine beeinflusste das Spannungsniveau besonders vor dem Falzwerk. Bild 19c zeigt ein sprunghaftes Anwachsen der Zugkraft am Falzwerk, dagegen ließ gleichzeitig die Spannung zwischen Druckwerk "Gelb" und Druckwerk "Rot" etwas nach.

Bei einem anderen Rollenwechsel wurde ein beträchtlicher Spannungsabfall am Falzwerk festgestellt, wegen eines Papierreißers konnte jedoch das weitere Spannungsverhalten in diesem Fall nicht gemessen werden.

f) Spannungsänderungen bei Drehzahländerungen

Drehzahlsteigerung

Beim Anlaufen wird zunächst bei angehobenen Presseuren die Bahn von den Zugwalzen des Falzwerkes bewegt, folglich wird dort auch die größte Zugkraft gemessen. Von dort aus gesehen nimmt sie kontinuierlich bis zur Abwicklung hin ab.

Mit dem Anstellen der Presseure fällt die Spannung am Falzwerk innerhalb einiger Sekunden teilweise bis auf die Hälfte ab (Bild 19d). Unterdessen steigt die Spannung zwischen den Druckwerken an, auch die Spannung am Falzwerk steigt dann wieder. Die normale Spannung am Rollenstuhl wird schnell erreicht und bleibt ziemlich konstant.

Beim Hochfahren von ca. 2 000 U/h bis zur Höchstdrehzahl steigt das gesamte Spannungsniveau außer am Rollenstuhl an, jedoch unbeträchtlich. Oft macht sich diese Spannungserhöhung auch noch bemerkbar, nachdem die Höchstdrehzahl bereits erreicht ist. Allerdings liegen diese Änderungen größenordnungsmäßig in den Grenzen der Spannungsschwankungen während des normalen Laufes.

Die Papierbahnspannung wird, von diesen Steigerungen beim Hochfahren abgesehen, beim Anstellen der Presseure zunächst festgelegt, sie hängt also sehr stark vom Anfahren ab, wie bereits ausgeführt wurde.

Drehzahlverminderung

Beim plötzlichen Abbremsen wegen Papierreißen etc.
- die Verzögerung der sich drehenden Teile ist dabei wesentlich größer als die Beschleunigung beim normalen Hochfahren - tritt an dieser Maschine eine kleine Voreilung des Falzwerkes auf, verursacht durch die Trägheitskräfte der Falzwerkteile (elastische Verformung von Teilen des Antriebes, die die Bremskräfte übertragen). Die Papierbahnspannung am Falzwerk fällt dadurch langsamer als die Zugkraft zwischen den Druckwerken Gelb und Rot.

X. Die Eichung

Bereits George und Kimball haben auf die große Schwierigkeit der Eichung hingewiesen. Redpath zeigte, daß die Eichung eines Tensiometers mit schmaler Bahn für eine breite Bahn keine Gültigkeit hat. Je breiter die Eichbahn, umso größer die Störeinflüsse. George und Kimball konnten wahrscheinlich nur qualitative Messungen mit Partialtensiometern durchführen, denn es sind keine Zahlenwerte von ihnen bekannt gegeben worden.

Nach Ringe sollen in drei Druckereien mit einem Springdale Tensiometer bei einer Papierbahn (52 bis 55 g/m²) folgende Mittelwerte gemessen worden sein: 0,360 kg/cm, 0,446 kg/cm, 0,268 kg/cm.

Im Verlauf der Auswertung zeigten sich große Unterschiede zwischen den statisch gewonnenen Eichwerten und den Kurven bei dynamischer Beanspruchung.

Mehrmals mußte festgestellt werden, daß die Nullpunkt Konstanz der verwendeten zwei Hottinger Meßbrücken im Laufe einer längeren Messung nicht erhalten geblieben war. Ein neuer Abgleich war jedoch nur dann möglich, wenn die Bahn gerade gerissen war. Der Produktionsablauf durfte durch die Messungen nicht verzögert werden.

Eine neue Meßbrücke der Firma Frischen zeigte allerdings nach langwierigen anfänglichen Schwierigkeiten, die erst im Laufe der Messungen behoben werden konnten, eine recht gute Konstanz über lange Zeiträume.

Die größte Nullpunktinstabilität wurde an der Philips-Umschalteinheit beobachtet. Bei dem verwendeten empfindlichen Meßbereich machte sich diese Unregelmäßigkeit störend bemerkbar. Die Ursache dafür sind die unterschiedlichen Übergangswiderstände an den Kontakten durch ungleichmäßiges Anziehen der Relais.

Da die Eichwerte der drei nebeneinander angeordneten Geber beim Rollenstuhl voneinander abwichen, muß angenommen werden, daß die Kräfte nicht gleichmäßig über die Bahn verteilt waren. Die Papierrolle konnte nur auf einer Seite arretiert werden, sie hatte sich offenbar zu stark verwunden.

Um den Produktionsablauf nicht zu stören, mußte die für die Eichung benutzte Zeit sehr kurz gehalten werden. Es war daher nur möglich, die Bahn an einer Stelle zu belasten und die Eichwerte aufzunehmen. Durch die Lagerreibungskräfte der Trockentrommeln und Leitwalzen etc. wirkte in der Papierbahn an der entferntesten Meßstelle am Falzwerk nicht die gesamte aufgebrachte Zugkraft.

Durch Unachtsamkeit des Bedienungspersonals wurden beim Reinigen der Maschine nach der ersten Eichung einige Geber verstellt.

Eichmethode

Die Papierbahn wurde an einem oder beiden Enden in ein Druckwerk eingespannt oder von Klemmleisten gehalten. Die Eichbelastung wurde über eine bewegliche Papierleitwalze oder ein Klemmleistenpaar von einem Flaschenzug bei zwischengeschaltetem Dynamometer aufgebracht (siehe Bild 6).

XI. Quantitative Beurteilung der Diagramme

Dem Vorteil der höheren Eigenfrequenz durch die kleine Masse des Schleifgebers steht die Wirkung der Reibungskraft als Nachteil gegenüber. Die Reibungskräfte sind bei unterschiedlichem Eindrücken des Gebers in die Bahn verschieden groß. Sie verursachen je nach Laufrichtung des Papiers zur Geberanordnung ein auf- oder abbiegendes Moment (Bild 21). Diese Überlegung erklärt zum Teil die Tatsache, dass bei der statischen Eichung je nach Geberstellung beim Umkehrpunkt vom Belasten zum Entlasten eine scheinbare Erhöhung oder scheinbar verstärkte Erniedrigung der Zugkraft gemessen wird (Bild 22). Harvey weist auf Hysterese-Erscheinungen in der Bahn beim Entlasten nach aufgebrachter Belastung hin.

Bei unbewegter Bahn, wie dies bei der statischen Eichung der Fall ist, drückt sich der Geber bei gleicher Federkraft R infolge des elasto-plastischen Verhaltens des Papiers tiefer ein als beim schnellen Lauf der Papierbahn. Daraus folgt, dass von der statischen Eichung keine exakten Zahlenwerte für die Auswertung der dynamischen Messungen erwartet werden können.

Der Abrundungsradius des Geberrandes hat Einfluß auf die Messungen, da sich das Papier bei den aufgegebenen Kräften entsprechend anpasst. Je kleiner der Radius, umso ungünstiger die Spannungsverhältnisse in diesem Papierbereich. Der Abrundungsradius darf also nicht zu klein gewählt werden. Je nach Geberform und Papiereigenschaften ist die vom Geber in die Papierbahn gedrückte Mulde und damit die Auflagefläche des Papiers am Geber unterschiedlich.

XII. Abhängigkeit der Registerhaltung von der Papierspannung

Beim Rollenwechsel treten erhebliche Spannungsschwankungen auf, somit auch Registerfehler. Bei einer gleichzeitigen Aufnahme der Steuerimpulse des Umfangsregisttermotors eines Druckwerkes neben den Spannungsschwankungen am Rollenstuhl nach dem Rollenwechsel zeigte sich, dass der Motor sogleich nach "Voraus"-Impulsen wieder "Nach"-Impulse erhält. Daraus läßt sich schließen, dass der Registermotor viel zu schnell und über das erforderliche Maß hinaus verstellt, so daß Rückkorrekturen nötig sind. Etwa vier Minuten nach dem Rollenwechsel war die Papierbahnspannung so weit eingestellt, daß Registerkorrekturen nicht mehr nötig waren.

Ausblick

Um umfangreichere Erfahrungswerte zu gewinnen, beabsichtigt das Institut weitere Messungen an Produktionsmaschinen - namentlich an den Autopastern - durchzuführen.

Mittelwerte der Spannungen in einer Papierbahn mit Dehnungsmeßstreifen direkt an papierführenden Maschinenteilen zu messen ist naheliegend, entsprechende Erfahrungen müssen noch gesammelt werden.

Bezeichnungen

| Zeichen | Dimension | Benennung |
|-------------|--------------------------|--|
| Z | kg | Gesamtzugkraft, die an der Papierbahn wirkt. |
| P | kg | Im Breitenbereich des Messgerätes in der Papierbahn wirksame Zugkraft. |
| R | kg | Resultierende Kraft, die auf das Meßgerät wirkt. |
| S | kg/m | Spezifische Zugkraft in der Papierbahn ("Papierspannung"). |
| H (H_g) | kg/m (g/m) | Horizontalkomponente von S. |
| V (V_g) | kg/m (g/m) | Vertikalkomponente von S. |
| E | g/mm | Elastizitätsmodul. |
| q | g/mm·m | Papierbahngewicht pro mm Länge. |
| c | g/mm | Federkonstante. |
| m | $\frac{g \cdot s^2}{cm}$ | Masse. |
| d | mm | Bahndurchhang. |
| l | mm | Leitwalzenabstand. |
| g | mm | Abstand des Meßpunktes von der Leitwalzentangente bei Anzeige Null = Zustellung. |
| e | mm | Abstand des Meßpunktes von der Leitwalzentangente. |
| f | mm | Federweg als Folge der Kraftwirkung. |
| L | mm | Aktive Federlänge. |
| b | mm | Bahnbreite. |
| γ_F | s^{-1} | Flutterfrequenz. |
| γ_Z | s^{-1} | Drehfrequenz des Formzylinders. |
| γ_e | s^{-1} | Eigenfrequenz. |
| μ | — | Reibungskoeffizient. |

L i t e r a t u r

- 1) H.F. George und J. Kimball Web Tension Research on Gravure Presses.
The American Pressman, Januar 1960,
S. 36 - 42.
- 2) H.F. George und J. Kimball Web Tension Research on Gravure Presses.
Technical Association of the Graphic
Arts, Inc. Tagungsbericht 1959.
- 3) H.F. George Web Tension Progress, Gravure, April 1960,
S. 30 - 32.
- 4) Führlbeck Über den Einfluß der "Züge" bei einer
Versuchspapiermaschine.
Dissertation, Techn.Hochschule Darmstadt
1959.
- 5) N.N. Pulp and Paper Magazine of Canada
56 Nr. 4/172 (1955)
- 6) W.B. Redpath Studien über die Eichung der Bahnspannung.
Gravure Research Inc. Bericht über die
Erforschung der Bahnspannung vom 16.12.57.
Anhang S. 7 - 15.
- 7) C.H. Ringe Über das Messen der Spannung in einer
laufenden Papierbahn.
Archiv für Druck und Papier, 1.Ausgabe,
1. Vierteljahr 1958, S. 35.
- 8) G. Schneidereit Über den Einfluß der Papierrollen-
bremsung auf den Druck und den Betrieb
von Rotationsmaschinen.
Dissertation, Techn.Hochschule Berlin,
1940.
- 9) W. Eschenbach Das Papier in der Rotationsmaschine.
Archiv für Druck und Papier, 2. Ausgabe,
2. Vierteljahr 1960, S. 272.

A b b i l d u n g e n

Bild-Nr.

- 1 Kräfte an der Meßstelle.
- 2 Das Springdale Tensiometer.
- 2a Skizze des Springdale Tensiometers.
- 3 Das General Electric Tensiometer.
- 3a Skizze des General Electric Tensiometers.
- 3b Skizze des Siemens Tensiometers.
- 4 Das DMS Tensiometer mit Laufrolle.
- 4a Skizze des DMS Tensiometers mit Laufrolle.
- 5 Das DMS Tensiometer ohne Laufrolle (Schleifgeber).
- 6 Skizze der Anordnung zur Eichung der Tensiometer.
- 7 Mit dem DMS Tensiometer mit Laufrolle aufgenommenes Diagramm.
- 8 Mit dem General Electric Tensiometer aufgenommenes Diagramm.
- 9 Spannungsschwankungen beim Rollenwechsel (Diagramm).
- 10 Meßplatz.
- 11 Spannungsverlauf beim Rollenwechsel.
- 12 Maximaler Durchhang der Papierbahn über der Zugkraft.
- 13 Maximaler Durchhang der Papierbahn über dem Leitwalzenabstand.
- 14 Kräfte an der durchhängenden Bahn.
- 15 Lageplan und Kräfteplan des Meßvorganges.

Bild-Nr.

- 16 Abstände über der Zugkraft P bei $g = 1,4 \text{ mm}$
und Durchhangkurven für verschiedene Leit-
walzenabstände und Bahnbreiten.
- 17 Beispiele für Meßstellen an der Papierbahn
einer Rotationsdruckmaschine.
- 18 Spannungen in der Papierbahn (Schema).
- 19 a-e Schriebbeispiele.
- 20 Spannungsänderungen beim Rollenwechsel
(Zusammenstellung).
- 21 Einfluß der Reibungskraft am Schleifgeber.
- 22 Diagramm statischer Eichungen bei zwei Geber-
stellungen.

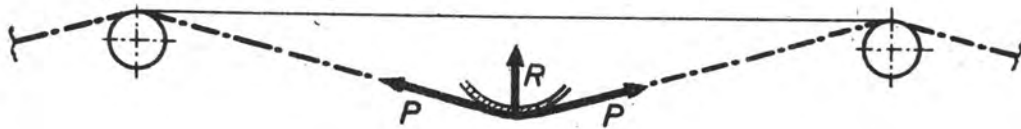


Bild 1

Kräfte an der Meßstelle

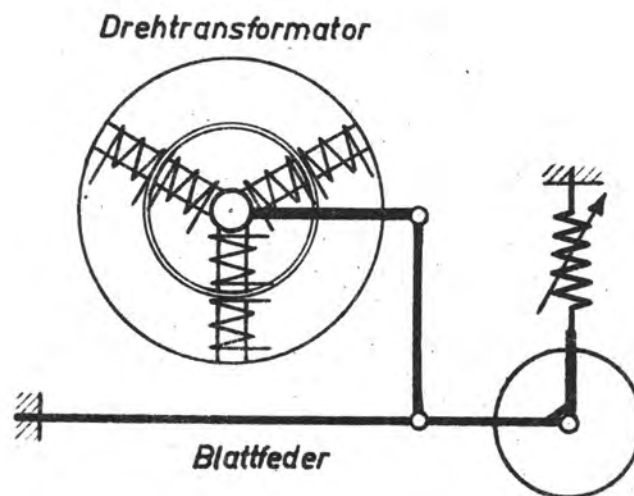


Bild 2a

Skizze des Springdale Tensiometers

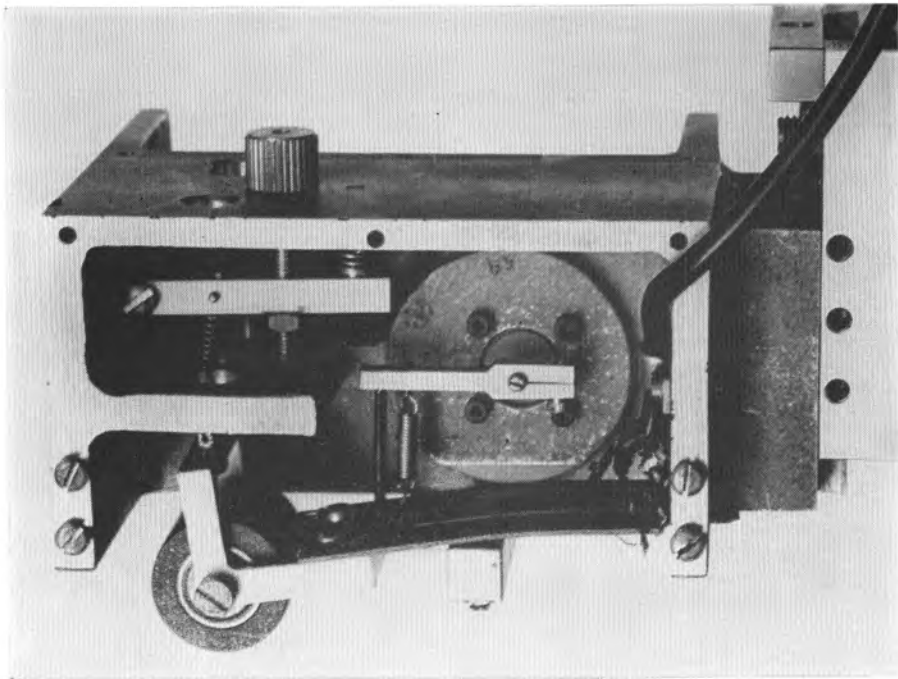


Bild 2 Springdale Tensiometer

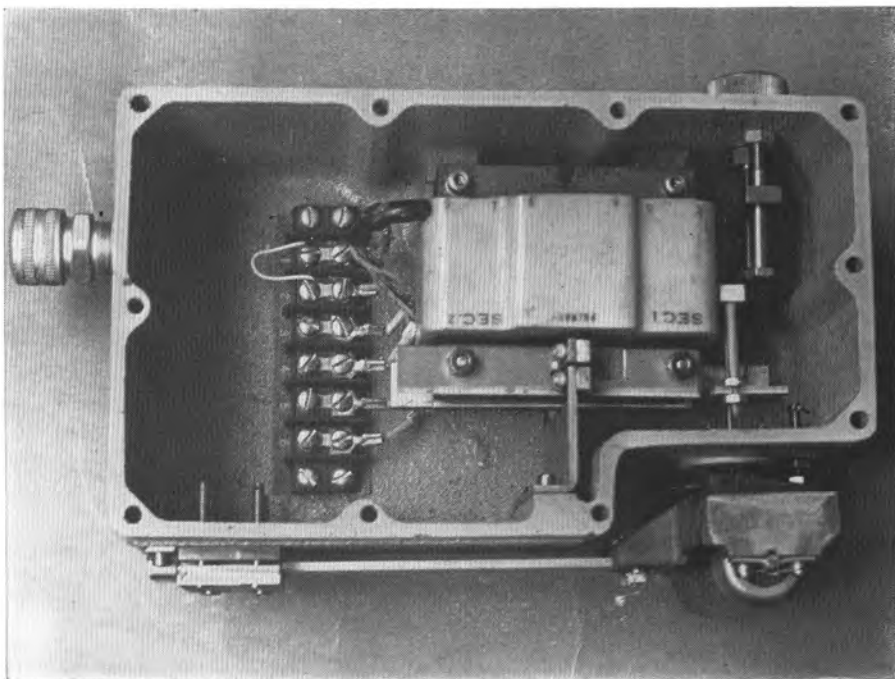


Bild 3 General Electric Tensiometer

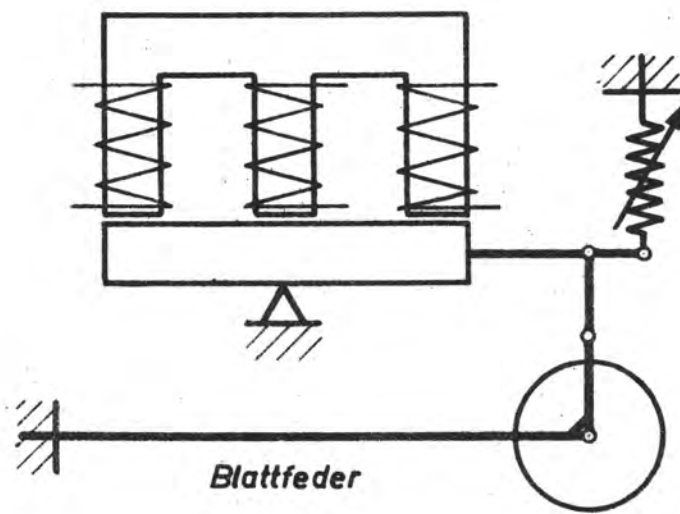


Bild 3a

Skizze des General Electric Tensiometers

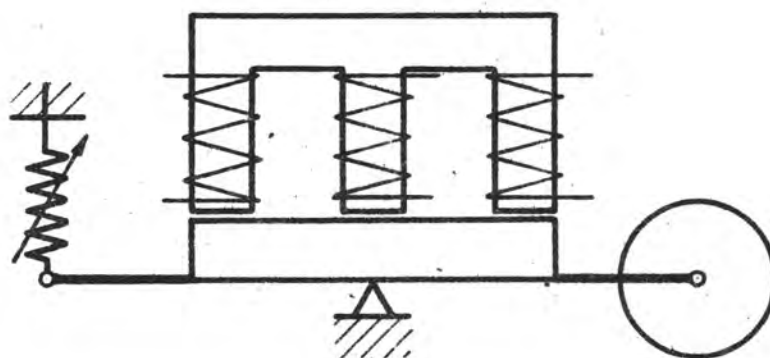


Bild 3b

Skizze des Siemens Tensiometers

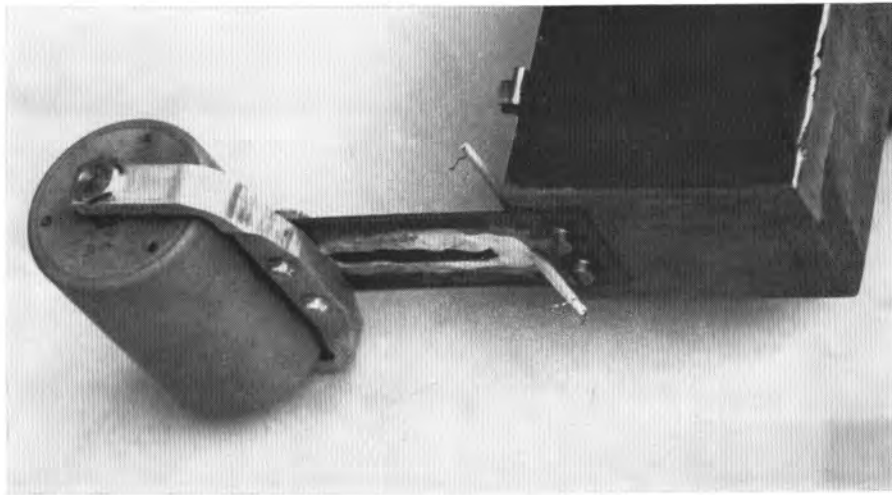


Bild 4
DMS Tensiometer mit
Laufrolle

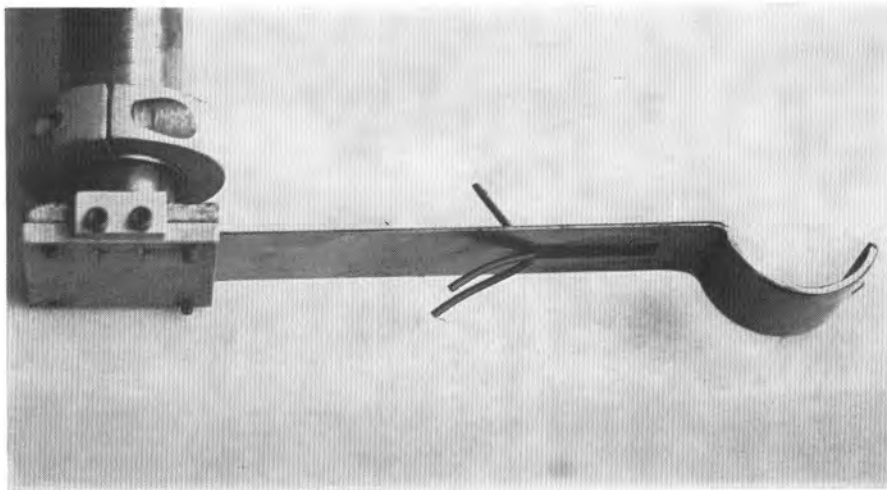


Bild 5
DMS Tensiometer ohne
Laufrolle (Schleifgeber)

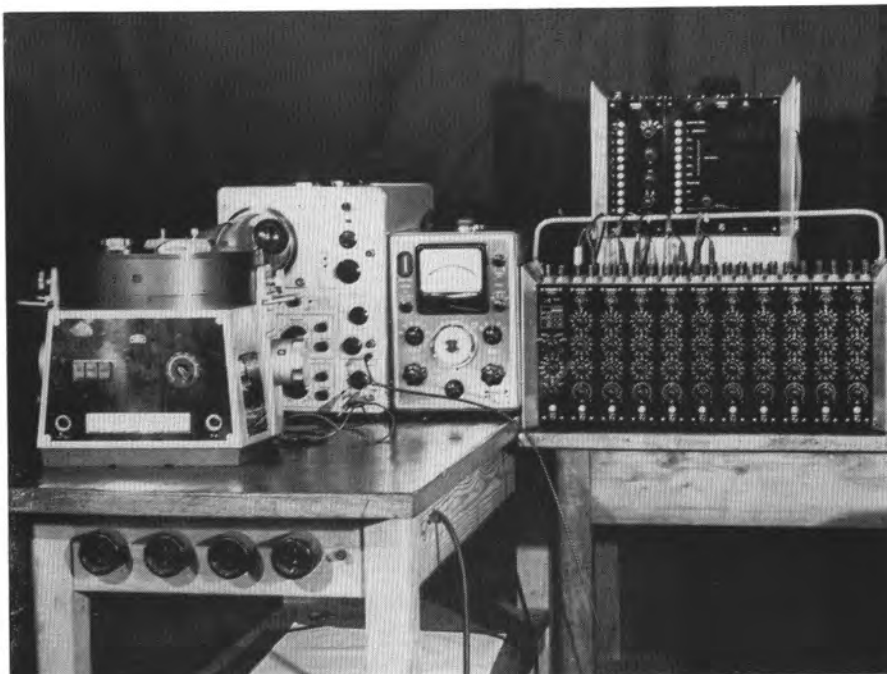


Bild 10
Meßplatz
mit Umschalt-
einheit
Meßbrücke
Oscillograph
Registrierkamera

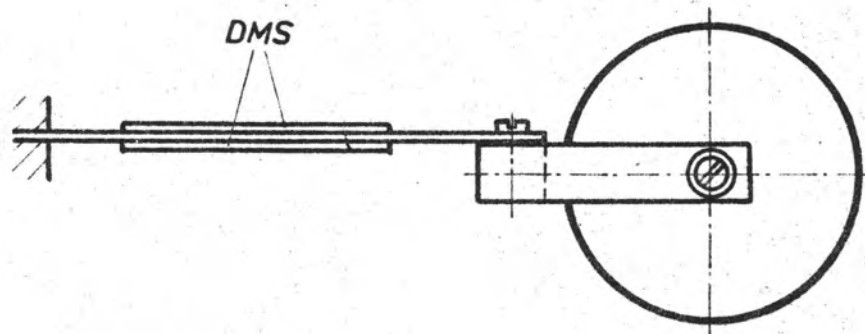


Bild 4a

Skizze des DMS Tensiometers mit Laufrolle

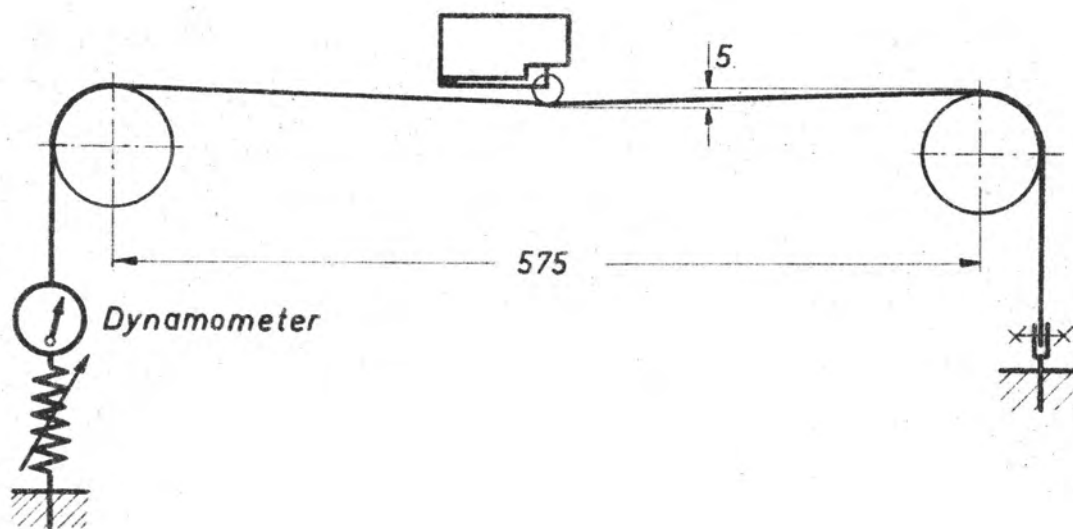


Bild 6

Anordnung zur Eichung der Tensiometer

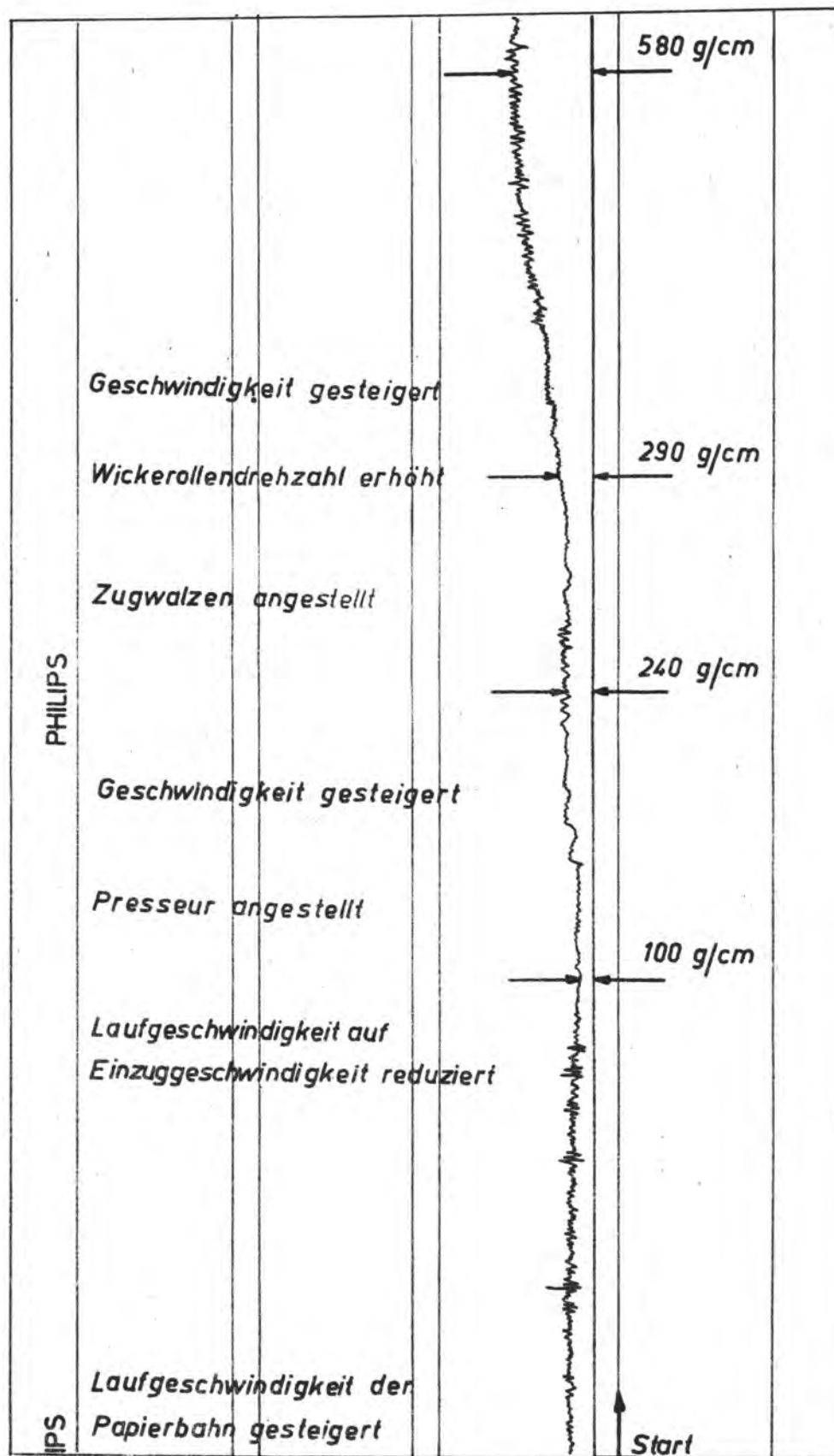


Bild 7 Mit dem DMS Tensiometer mit Laufrolle aufgenommenes Diagramm

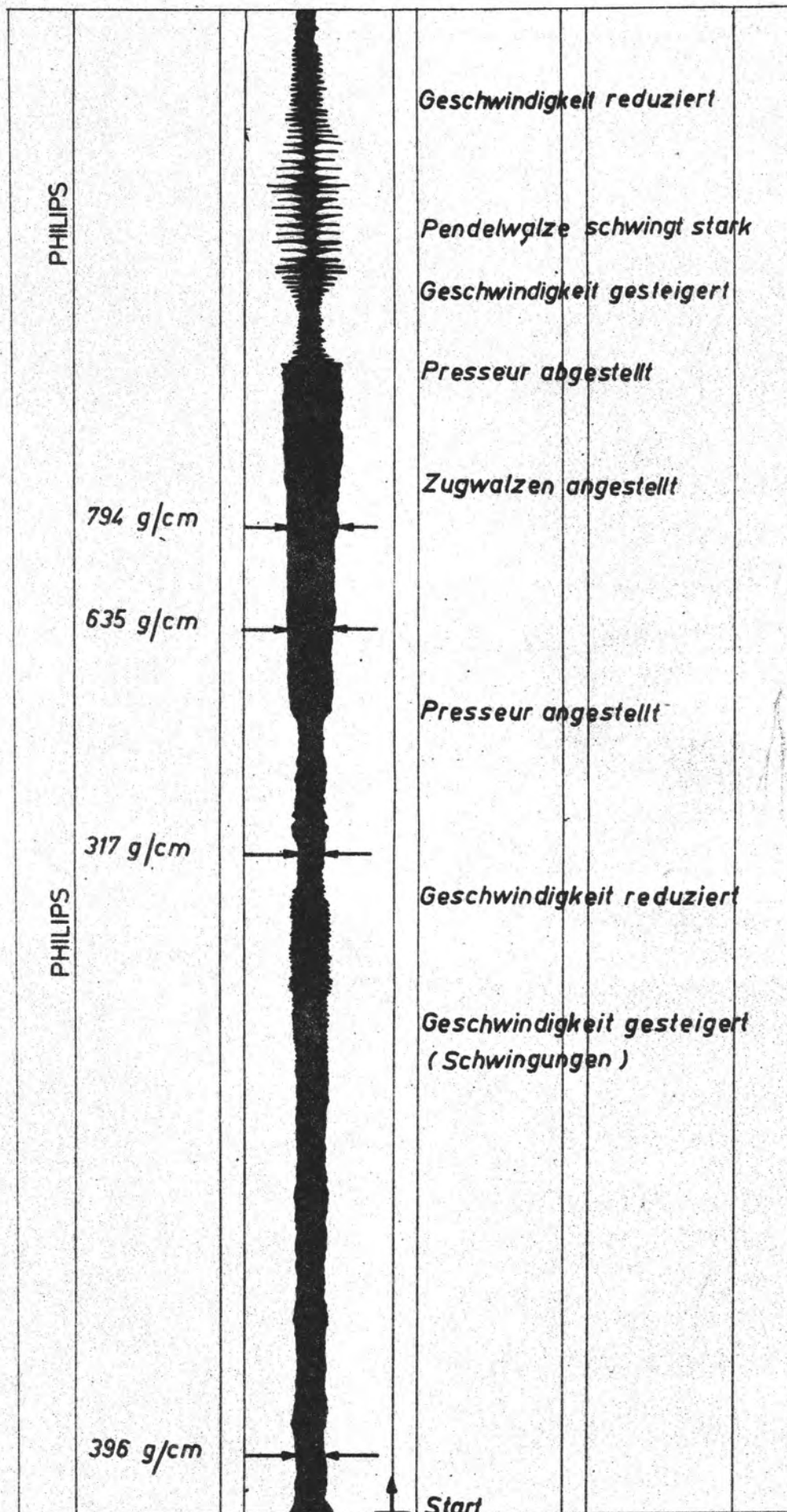


Bild 8. Mit dem General Electric Tensiometer aufgenommenes Diagramm

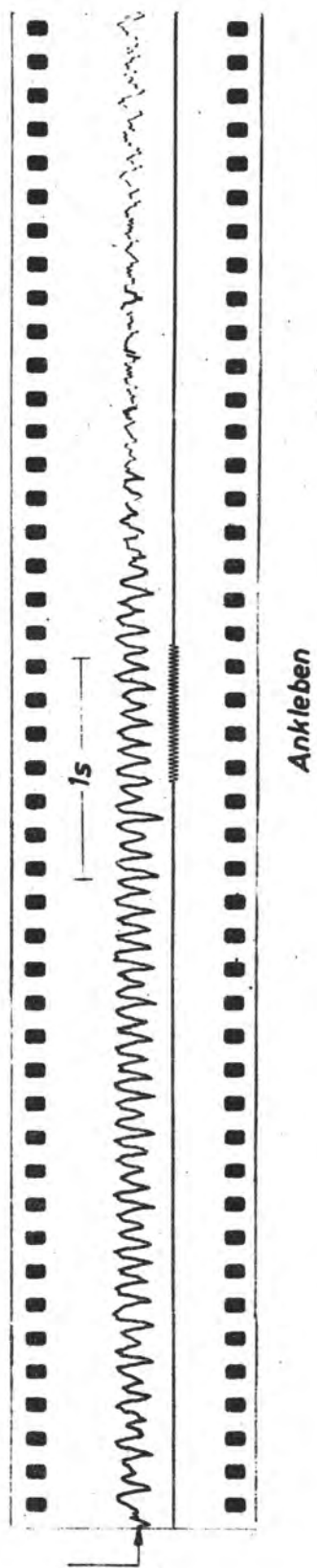
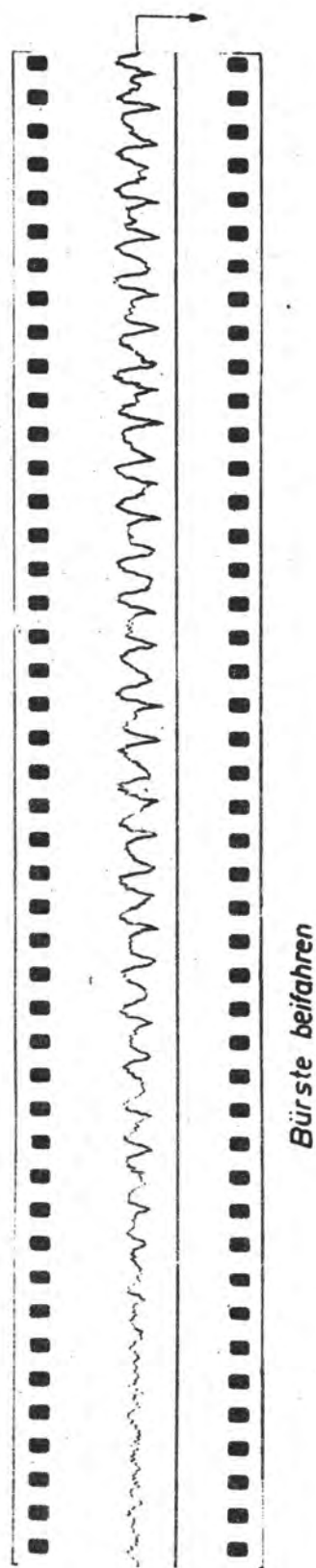


Bild 9 Spannungsschwankungen beim Rollenwechsel

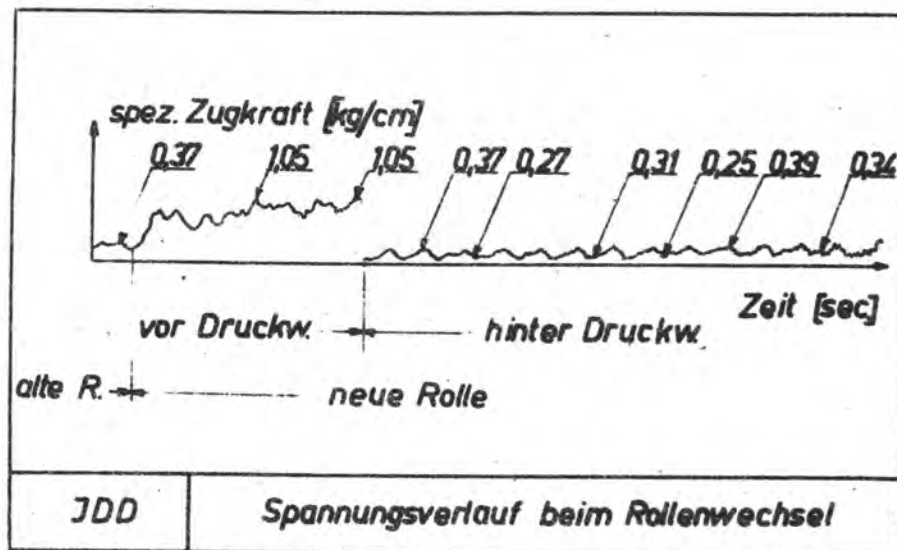
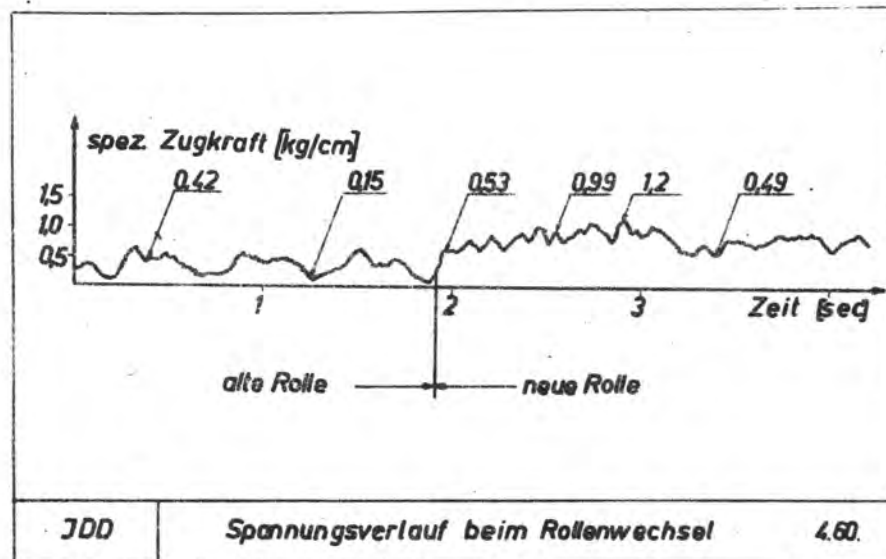


Bild 11

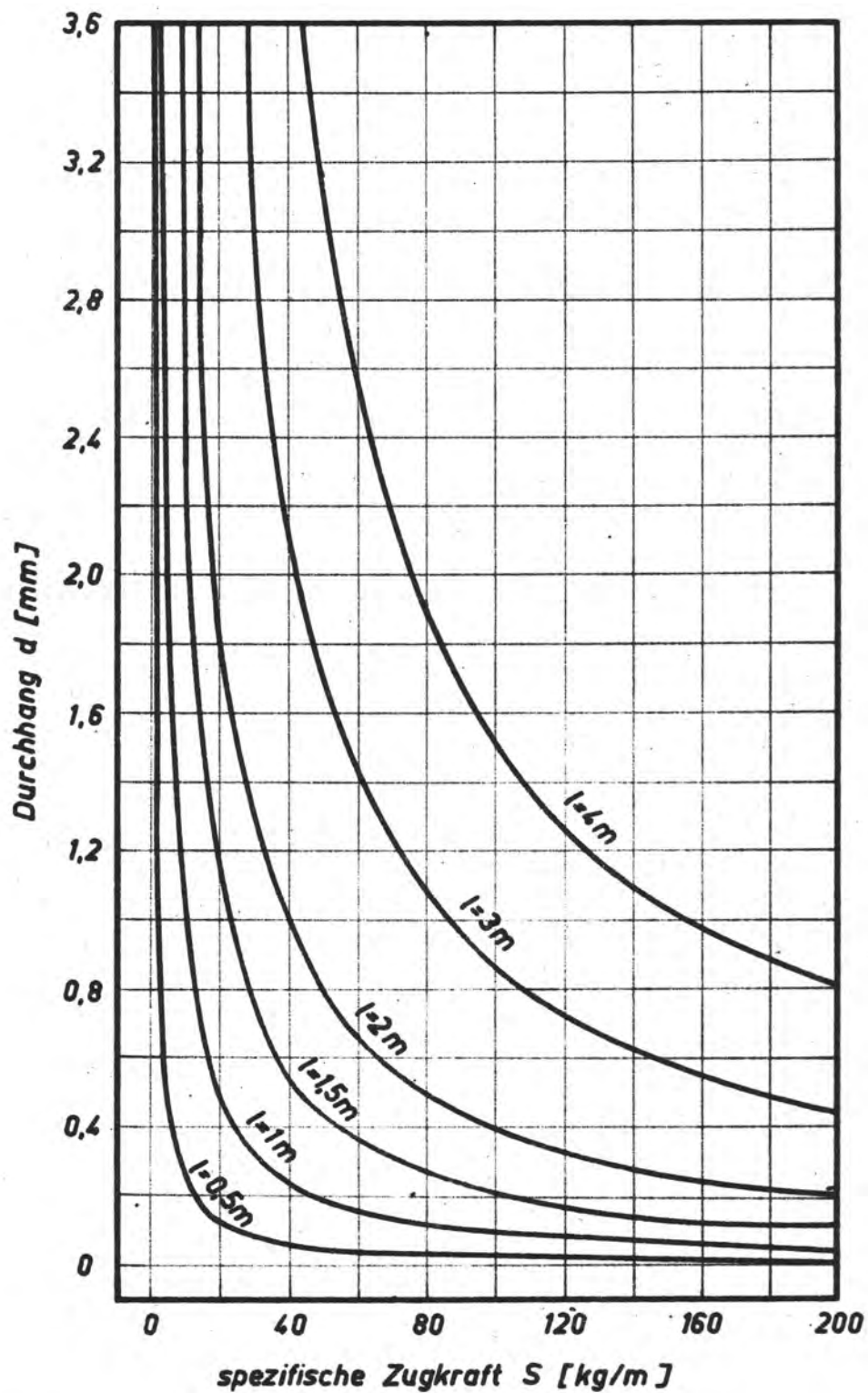


Bild 12

maximaler Durchhang über Zugkraft

für verschiedene Leitwalzenabstände

(Papier 80 g/m²)

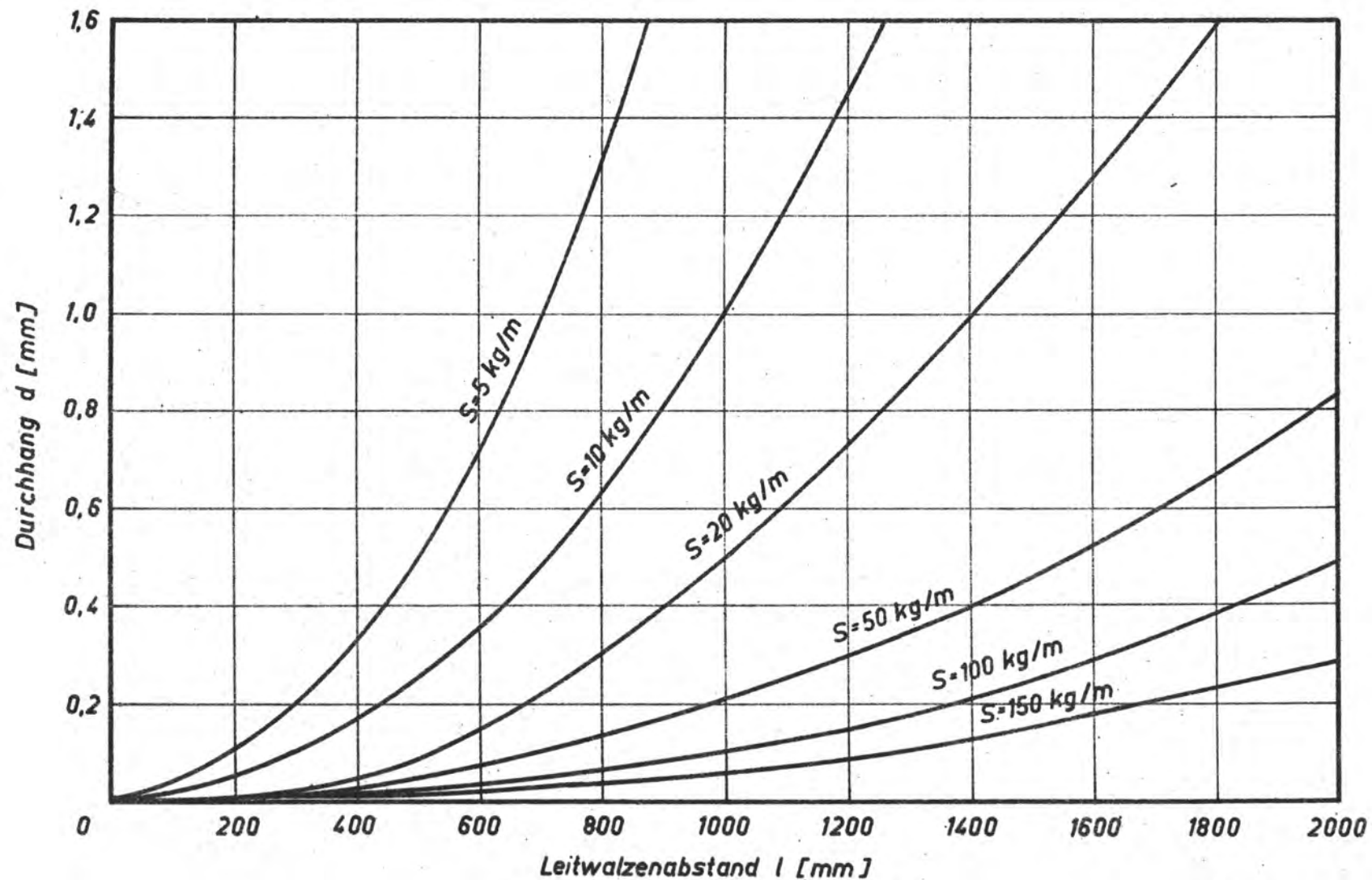


Bild 13

maximaler Durchhang über Leitwalzenabstand
für verschiedene spezifische Zugspannungen S [kg/m] (Papier: 80 g/m²)

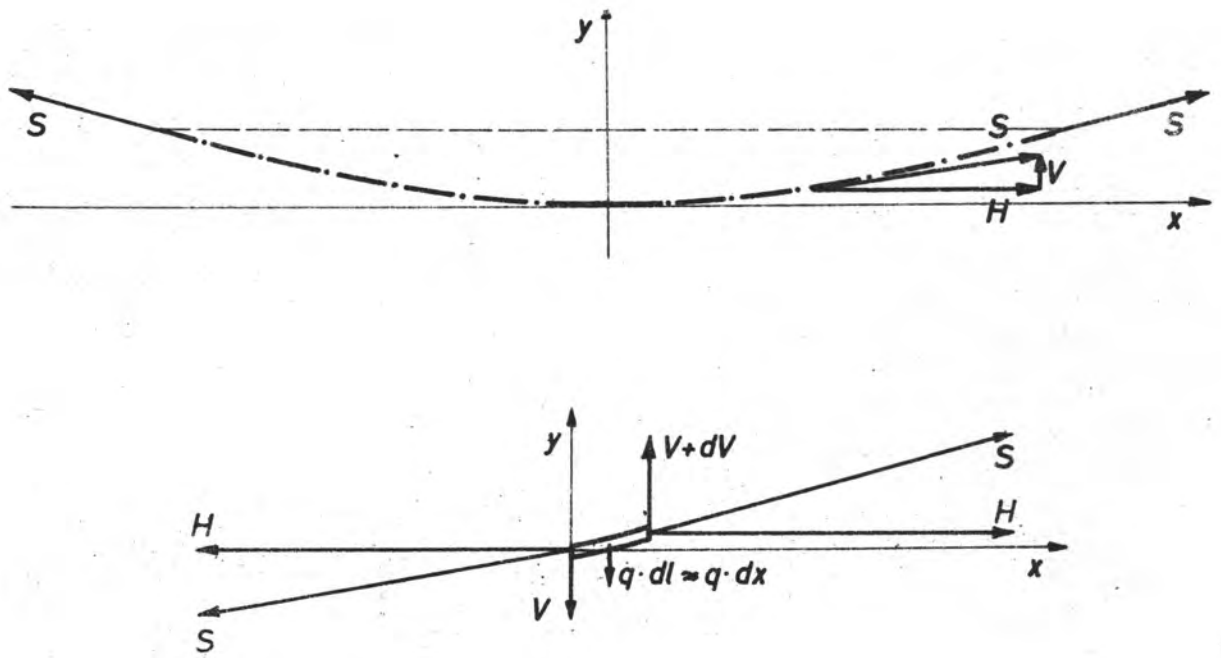


Bild 14

Kräfte an der durchhängenden Bahn

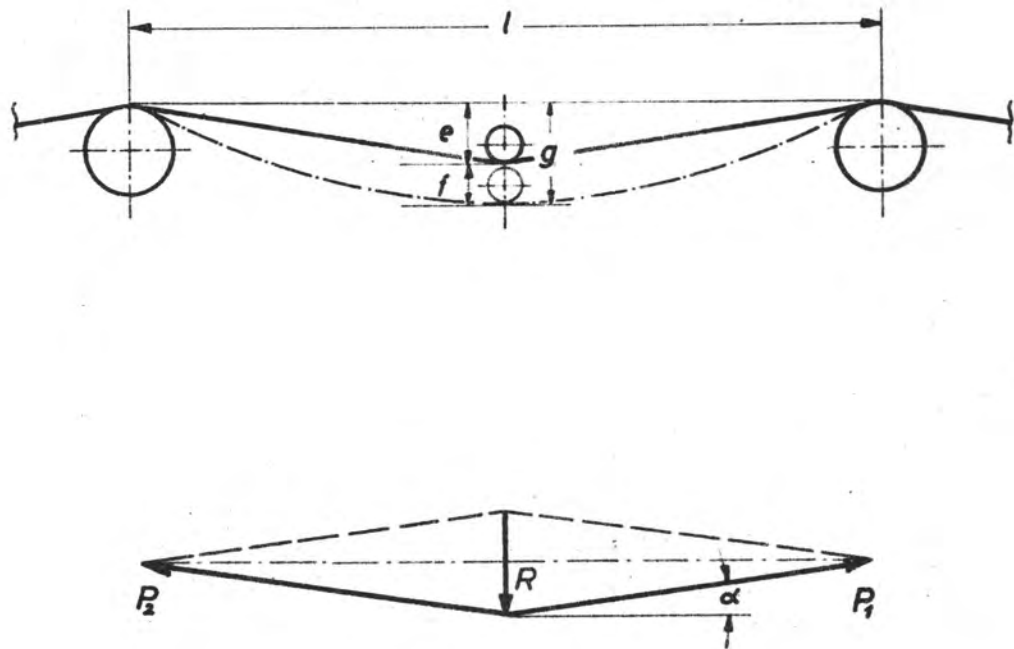


Bild 15

Lageplan und Kräfteplan des Messvorganges

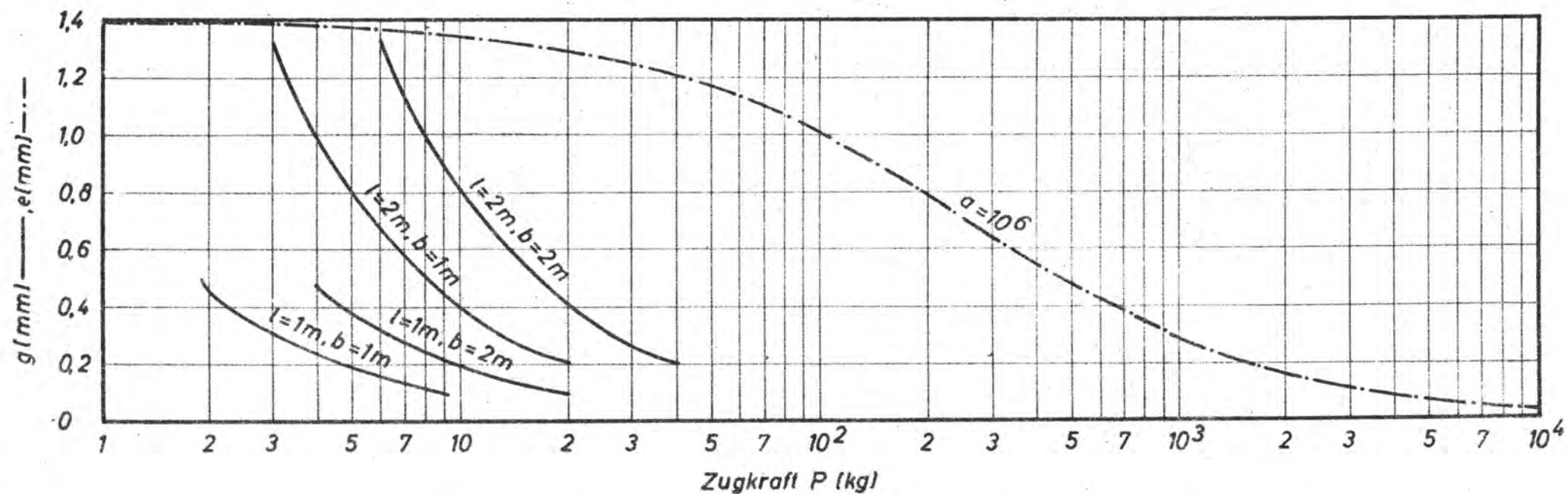


Bild 16

Abstand e über der Zugkraft P bei Zustellung $g=1,4\text{mm}$
und Durchhangkurven für verschiedene Leitwalzenabstände l
und Bahnbreiten b

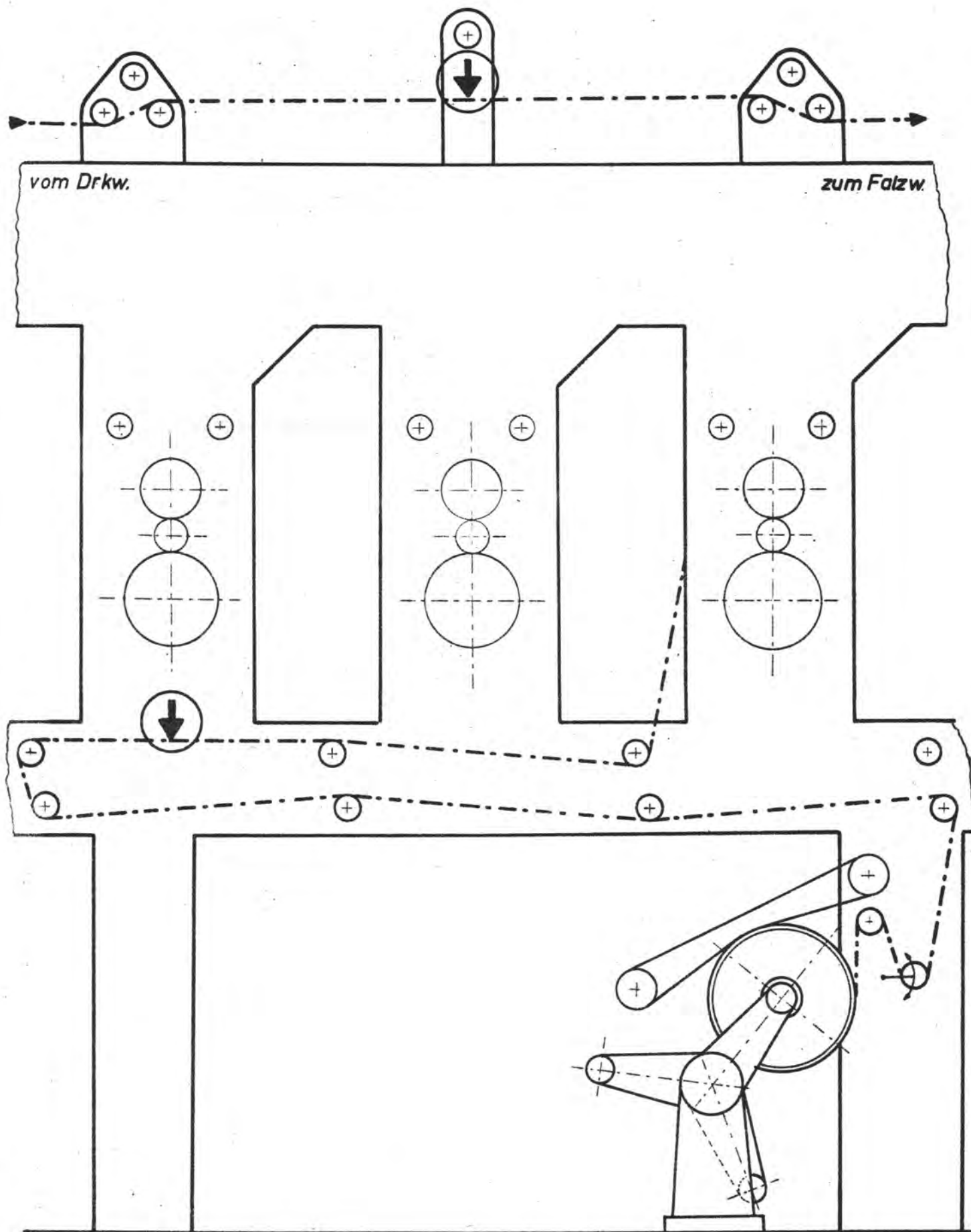
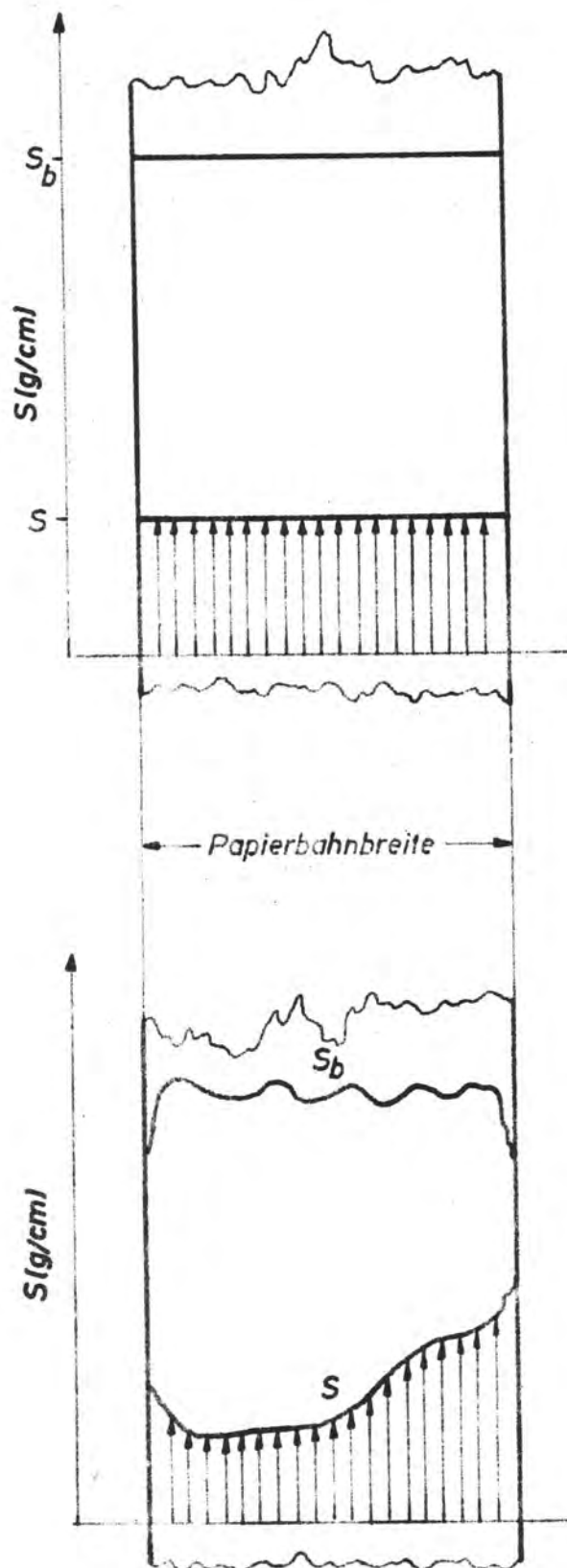


Bild 17. Beispiele für Meßstellen (↓) an der Papierbahn einer Rotationsdruckmaschine



Ideale Spannungsverteilung

S = spezifische Spannung

S_b = Bruchspannung

*Beispiel für tatsächliche Spannungsverteilung
infolge unterschiedlicher Feuchtigkeit
und unterschiedlichen Dehnvermögens*

Bild 18

Spannungen in der Papierbahn

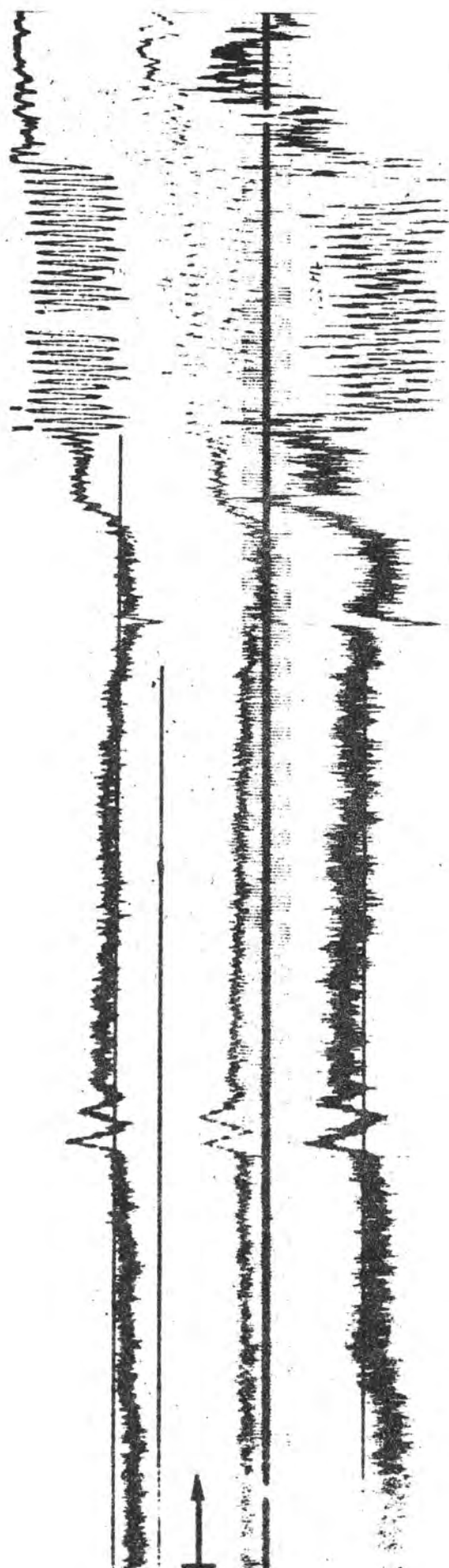


Bild 19 a

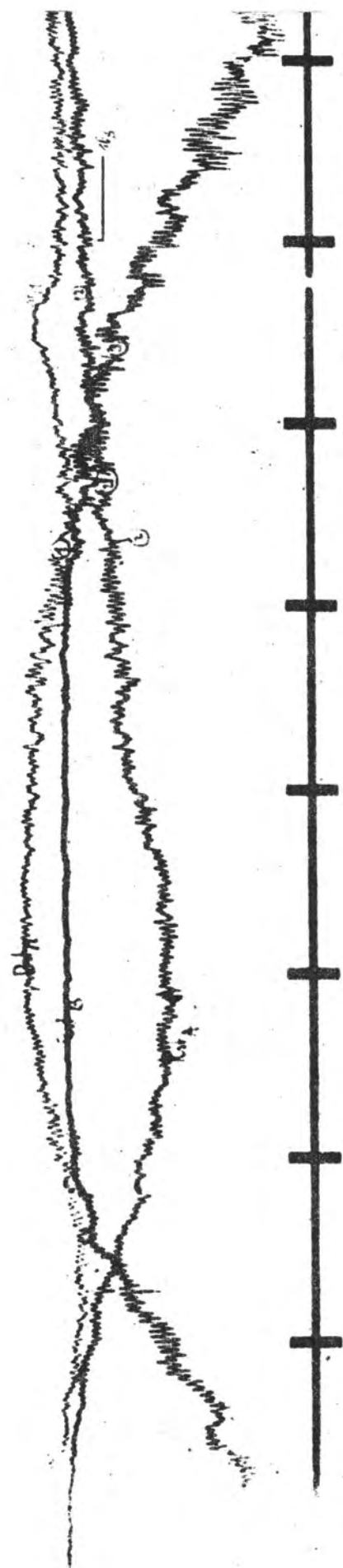


Bild 19 b

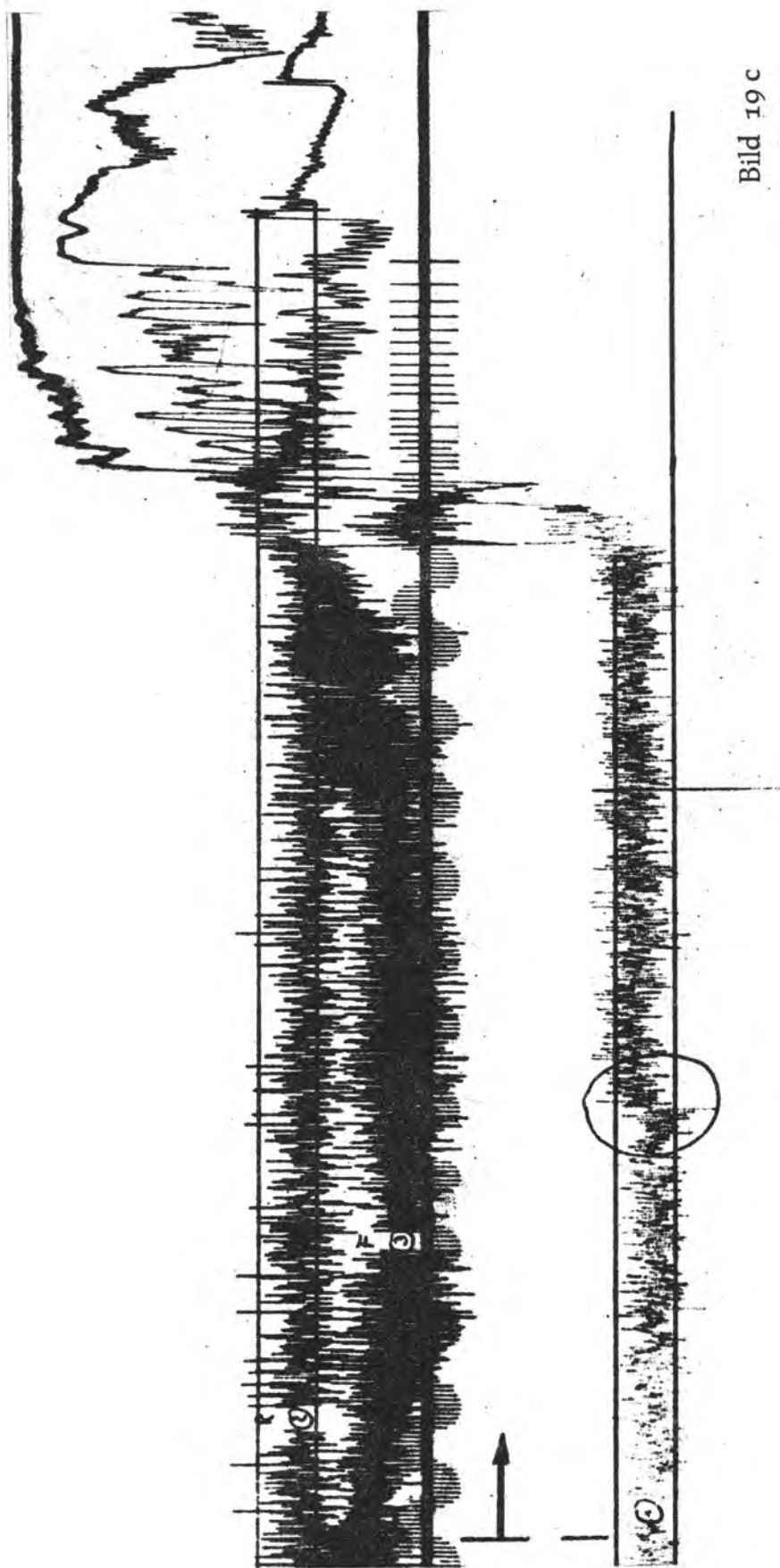


Bild 19 c

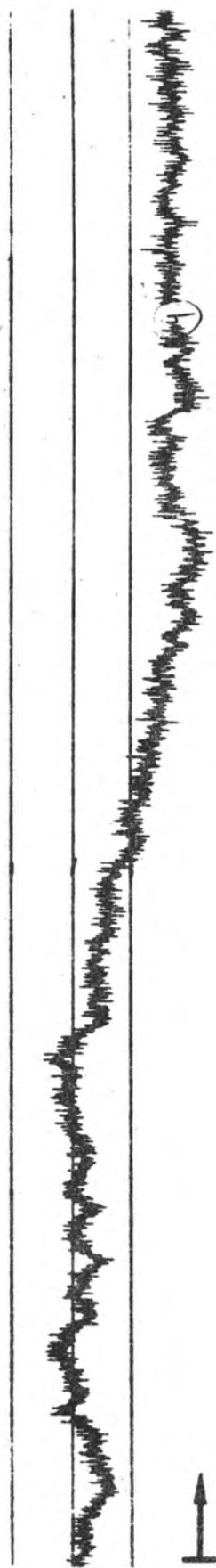


Bild 19 d

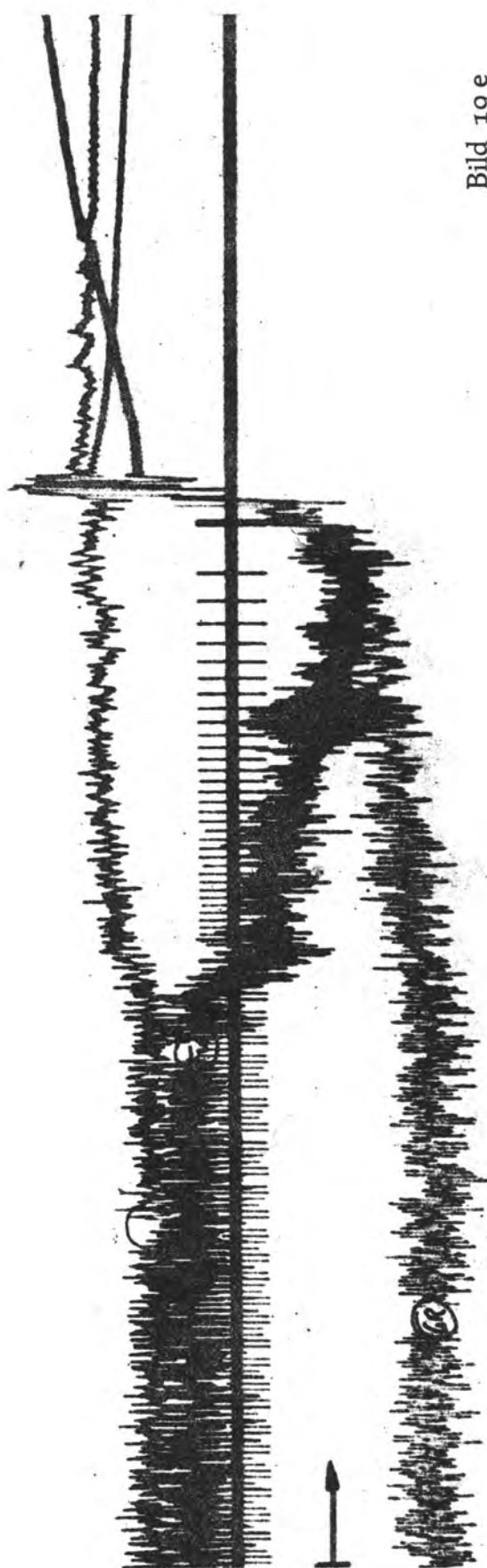
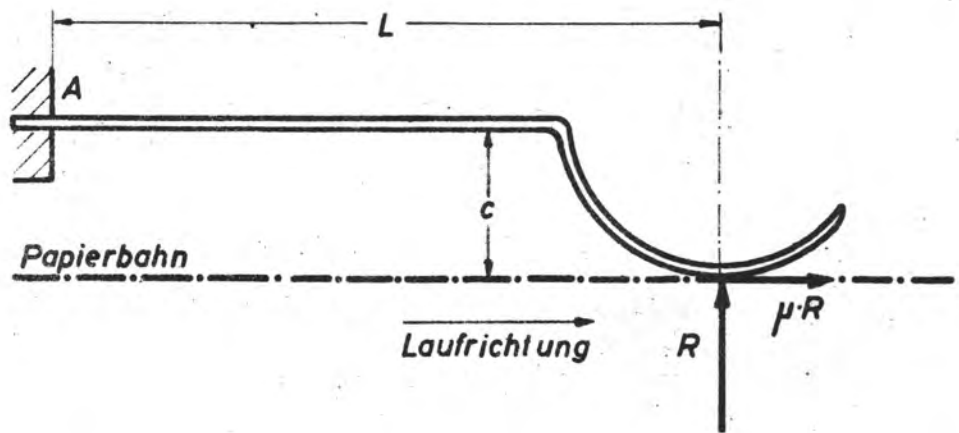


Bild 19 e

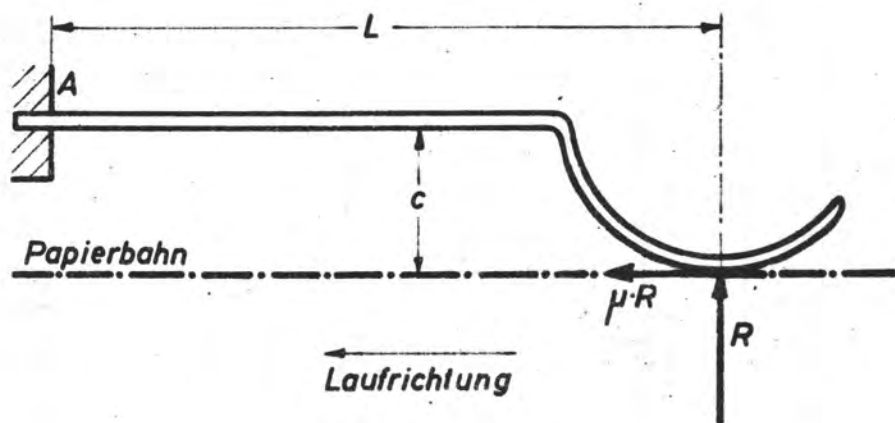
Spannungsänderungen beim Rollenwechsel (Zusammenstellung)

| Schriebrolle Nr. | | 35a | 33 | | 32 | | | | 30 | | | | 29 | | 28 | | | | 27 | |
|--|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|
| Stelle. Nr. | | 20 | 3 | 17 | 14 | 19 | 23 | 25 | 6 | 22 | 27 | 33 | 1 | 5 | 6 | 16 | 21 | 25 | 1 | 2 |
| kontinuierliche Beobachtung bis zum Abheben des Gurtes [s] | | 370 | 170 | 76 | 43 | 62 | 28 | 100 | 28 | 18 | 10 | 4 | 33 | 15 | 93 | 45 | 34 | 24 | 7 | 12 |
| Tendenz bis zum Abheben des Gurtes | | ↗ | → | → | ↗ | ↗ | → | ↗ | ↘ | → | ↘ | ↘ | ↘ | ↘ | ↘ | ↘ | ↘ | ↘ | → | ↘ |
| beim Abheben des Gurtes | aufretende Spannungsspitze | — | k | m | m | m | sg | g | g | sg | k | k | g | sg | k | m | k | g | m | m |
| | Abweichung v. d. Altspannung | ↘ | ↘ | ↘ | ↘ | ↘ | ↓sg | ↑k | m | sg | m | k | → | g | → | k | k | sg | → | → |
| | Zahl der Schwingungen | 3 | 1 | 2 | 5 | 2 | 8 | — | 4 | 5 | 3 | 1-2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 11 | 4 | 1 |
| Zeit bis zum Einsetzen der Bandbremsen [s] | | 1,1 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 1,7 | — | 0,5 | 0,6 | — | 0,5 | 1,4 | 1 | 1 | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 1 | 1 |
| Spannung während des Bremsens (Rolle läuft ohne Gurt) | | ↗ | → | → | → | → | ↑ | ~ | ~ | → | ↘ | → | → | ↘ | → | → | → | W | → | ~ |
| Spannung kurz vor dem Ankleben | | ↑ | ↗ | → | ↗ | → | → | ↘ | → | → | → | → | ↑ | ↗ | → | → | → | → | → | → |
| Spannungsspitze beim Schnitt | | — | 0 | ↑S | ↑S | ↑S | 0 | ↑S | ↑S | 0 | ↑2S | ↑g | ↑ | ↑S | ↓ | ↑ | 0 | — | 0 | ↑ |
| Neuspannung zu Bremsspannung | | ↑ | ↓ | → | ↓ | → | ↓ | → | ↑ | ↓ | ↘ | ↑ | → | ↓ | ↑ | ↑ | ↑ | — | ↑ | ~ |
| Neuspannung zu Altspannung | | ↑ | ↓ | → | ↓ | → | ↓ | ↓ | → | ↓ | ↓ | → | ↓ | ↓ | ↑ | ↑ | → | — | ↑ | ~ |
| kontinuierliche Beobachtung nach dem Schnitt [s] | | — | 83 | — | 80 | 75 | 52 | 50 | 75 | 20 | 66 | — | 47 | 110 | 83 | 125 | 46 | — | 60 | 100 |
| Bemerkung | | | | Riß | | | | | | | | | | | | | | Riß | | |

m = mittel g = groß S = eine volle Schwingung ↗ = langsam steigend ↘ = langsam fallend
 k = klein sg = sehr groß → = gleichbleibend ↑ = schnell steigend ↓ = schnell fallend

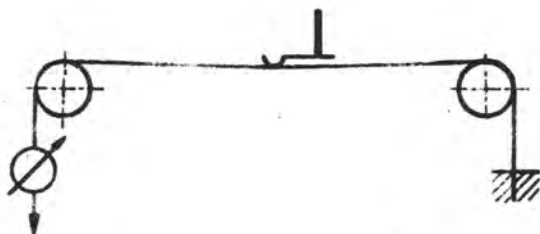
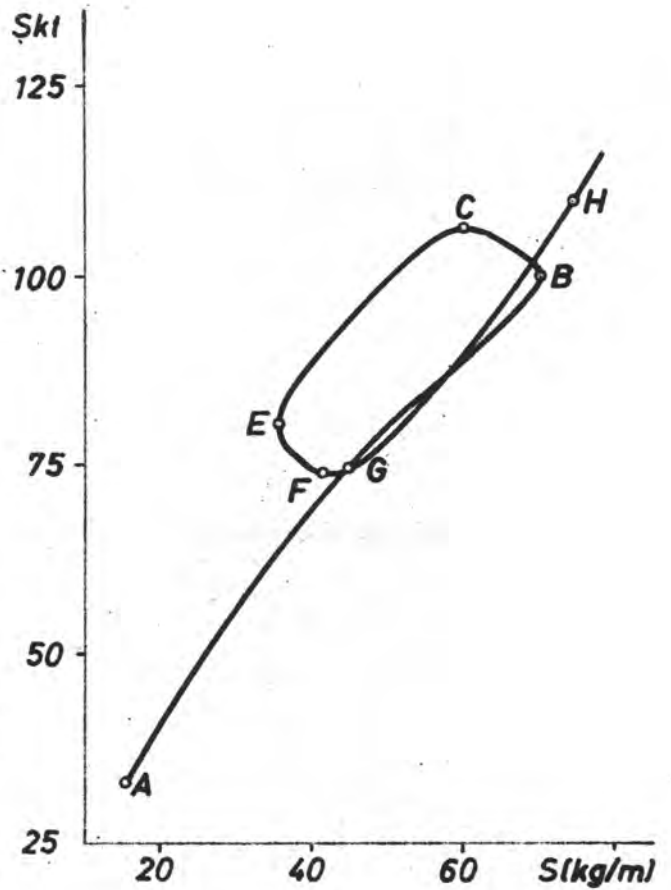
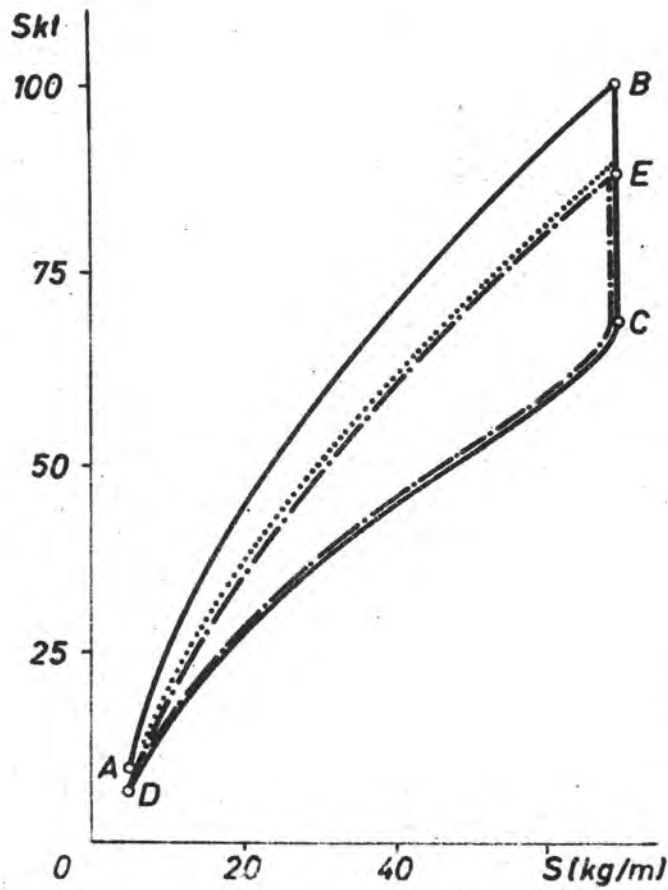


$$M_A = R \cdot L + \mu \cdot R \cdot c$$

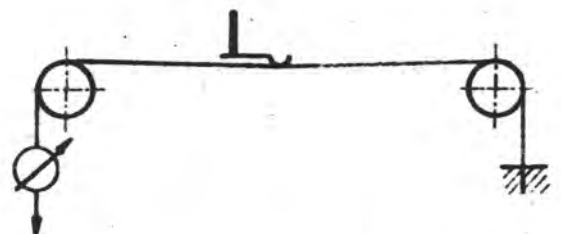


$$M_A = R \cdot L - \mu \cdot R \cdot c$$

Bild 21 Einfluß der Reibungskraft am Schleifgeber



Zugrafterhöhung A - B
 Zugkrafterniedrigung B - C - D
 Zugrafterhöhung D - E



Zugrafterhöhung A - B
 Zugkrafterniedrigung B - C - E
 Zugrafterhöhung F - G - H

Bild 22

Diagramme statischer Eichungen für zwei Geberstellungen